

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



**GREGOR KLOBČAR**

**PRIMERJAVA OPTIMIZACIJE KRMILNIH  
PARAMETROV KRIŽIŠČ NA DUNAJSKI CESTI V  
LJUBLJANI V PROGRAMIH SIDRA IN VISTRO**

**MAGISTRSKO DELO**

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE  
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2022

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Kandidat:

**GREGOR KLOBČAR**

**PRIMERJAVA OPTIMIZACIJE KRMILNIH  
PARAMETROV KRIŽIŠČ NA DUNAJSKI CESTI V  
LJUBLJANI V PROGRAMIH SIDRA IN VISTRO**

Magistrsko delo št.:

**COMPARISON OF THE OPTIMIZATION OF THE  
CONTROL PARAMETERS ALONG INTERSECTIONS  
ON DUNAJSKA CESTA IN LJUBLJANA IN THE SIDRA  
AND VISTRO SOFTWARE**

Master thesis No.:

**Mentor/-ica:**

izr. prof. dr. Marijan Žura

**Predsednik komisije:**

**Somentor/-ica:**

viš. pred. dr. Rok Marsetič

**Član komisije:**

Ljubljana, \_\_\_\_\_

## POPRAVKI – ERRATA

| Stran z napako | Vrstica z napako | Namesto | Naj bo |
|----------------|------------------|---------|--------|
|----------------|------------------|---------|--------|

## **ZAHVALA**

Za idejo o tematiki, vso pomoč in ves vložen trud pri nastajanju naloge bi se rad zahvalil mentorju, prof. dr. Marijanu Žuri. Prav tako velika hvala somentorju, dr. Roku Marsetiču, za vse nasvete in rešitve, ki sem jih potreboval pri uporabljanju programskih orodij. Hvala tudi mag. Simonu Detellbachu in asistentu Luki Trčku za pomoč in vložen čas pri modeliranju prometnih modelov.

Zelo velika zahvala gre mojima staršema, ki sta me spremljala na celotni poti študija in me podpirala na tak ali drugačen način. Rad bi se zahvalil tudi bratoma Mihi in Roku, vajini nasveti, druženje in vzpodbude so mi olajšale študentska leta.

Nazadnje pa HVALA moji ženi Lei, tvoja opora, besede in majhne pozornosti, so mi bile v veliko pomoč in mi pomagale vztrajati, tudi ko je bilo težko.

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

**UDK:** 004:656.1(497.4)(043.3)  
**Avtor:** Gregor Klobčar, dipl. inž. grad. (UN)  
**Mentor:** izr. prof. dr. Marijan Žura, univ. dipl. inž. grad.  
**Somentor:** viš. pred. dr. Rok Marsetič, univ. dipl. inž. grad.  
**Naslov:** Primerjava optimizacije krmilnih parametrov križišč na Dunajski cesti v Ljubljani v programih Sidra in Vistro  
**Tip dokumenta:** magistrsko delo  
**Obseg in oprema:** 66 str., 22 pregl., 27 sl., 20 graf., 4 en., 4 pril., 17 virov  
**Ključne besede:** optimizacija, križišča, nivo uslug, povprečne časovne zamude, Sidra Intersection, PTV Vistro, koordinacija

### **Izveček:**

V današnjem svetu so zastoji na cestah postali nekaj vsakdanjega in temu se seveda poskušamo izogniti. Pri načrtovanju in planiranju nove ter rekonstrukcije obstoječe prometne infrastrukture je potrebno zadostiti določenim kriterijem funkcionalnosti in prepustnosti križišč. Načrtovati je potrebno čim bolj optimalno in učinkovito. Pri tem nam pomagajo različna analitična in simulacijska programska orodja. V sklopu magistrskega dela smo izvedli primerjavo dveh analitičnih programskih orodij na primeru Dunajske ceste v Ljubljani. Obravnavano območje obsega pet križišč, ki si sledijo drugo za drugim. Izvedena je bila analiza kapacitivnosti in prepustnosti križišč, kjer smo dobili rezultate o povprečnih zamudah in nivojih uslug po posameznih vozniških pasovih, ter na celotnih krakih. V zadnjem sklopu je bila opravljena tudi optimizacija teh petih križišč v smislu linijske koordinacije vzdolž mestne arterije. Opravljena analiza je podala ključne rezultate o primerjavi obeh programskih orodij, od zasnove prometnega modela in vnosa podatkov do analize obstoječega stanja in optimizacije celotne mreže križišč.

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

**UDC:** 004:656.1(497.4)(043.3)  
**Author:** Gregor Klobčar, B. Sc. Civil Engineering  
**Supervisor:** assoc. prof. Marijan Žura, Ph. D.  
**Co-supervisor:** Assist. Rok Marsetič, Ph.D.  
**Title:** Comparison of the optimization of the control parameters along intersections on Dunajska cesta in Ljubljana in the Sidra and Vistro software  
**Document type:** Master Thesis  
**Notes:** 66 p., 22 tab., 27 fig., 20 graph., 4 eq., 4 ann., 17 ref.  
**Keywords:** optimization, intersections, level of service, average time delays, Sidra Intersection, PTV Vistro, coordination

### **Abstract**

In today's world, traffic jams have become an everyday problem, and of course we try to avoid them. When planning new transport infrastructure, as well as reconstruction of existing, it is necessary to meet certain criteria of functionality and permeability of intersections. It is necessary to plan as optimally and efficiently as possible, and various analytical and simulation software tools help us with this process. As part of the master's thesis, we performed a comparison of two analytical software tools, in the case of Dunajska cesta in Ljubljana. The area under consideration includes five intersections. An analysis of the capacity and efficiency of intersections was performed, where we obtained results on average delays and service levels for individual lanes, as well as for entire legs. In the last part the optimization of these five intersections was also carried out in terms of line coordination along the city artery. The analysis carried out provided key data on the comparison of the two software tools from the design and data entry to the analysis of the existing situation and the optimization of the entire network of intersections.

## KAZALO VSEBINE

|                                                                     |             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>POPRAVKI – ERRATA .....</b>                                      | <b>I</b>    |
| <b>ZAHVALA .....</b>                                                | <b>II</b>   |
| <b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>         | <b>III</b>  |
| <b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b> | <b>IV</b>   |
| <b>KAZALO SLIK.....</b>                                             | <b>VII</b>  |
| <b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>                                      | <b>VIII</b> |
| <b>KAZALO GRAFIKONOV.....</b>                                       | <b>IX</b>   |
| <b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS .....</b>       | <b>X</b>    |
| <b>1 UVOD .....</b>                                                 | <b>1</b>    |
| <b>2 TEORETIČNA IZHODIŠČA .....</b>                                 | <b>3</b>    |
| 2.1 Prometno dimenzioniranje in načrtovanje .....                   | 4           |
| 2.2 Značilnosti prometnih tokov .....                               | 4           |
| 2.2.1 Sestavljenost prometnega toka .....                           | 4           |
| 2.2.2 Splošni pogoji odvijanja prometa .....                        | 5           |
| 2.2.3 Struktura prometnega toka .....                               | 5           |
| 2.2.4 Časovna neenakomernost prometnih tokov.....                   | 5           |
| <b>3 OSNOVNI PARAMETRI PROMETNEGA TOKA .....</b>                    | <b>7</b>    |
| 3.1 Oviran prometni tok.....                                        | 8           |
| 3.1.1 Semaforizirana križišča .....                                 | 8           |
| <b>4 ANALIZA UČINKOVITOSTI IN NJENI INDIKATORJI .....</b>           | <b>13</b>   |
| 4.1 Kapaciteta in njen izračun .....                                | 13          |
| 4.2 Nivo uslug (NU).....                                            | 14          |
| 4.3 Mere uspešnosti (MU) .....                                      | 15          |
| 4.4 Povprečne zamude in razmerje u/c .....                          | 15          |
| <b>5 UPORABLJENA PROGRAMSKA ORODJA.....</b>                         | <b>17</b>   |
| 5.1 Program Sidra Intersection.....                                 | 17          |
| 5.2 Program PTV Vistro .....                                        | 17          |
| 5.3 Začetna primerjava programskih orodij.....                      | 18          |
| <b>6 OBRAVNAVANO OBMOČJE.....</b>                                   | <b>19</b>   |
| 6.1 Križišče – Dimičeva ulica (B3) .....                            | 21          |
| 6.2 Križišče – Baragova ulica (B4) .....                            | 22          |
| 6.3 Križišče – Kadilnikova ulica (B25).....                         | 23          |
| 6.4 Semaforiziran peš prehod (B5A) .....                            | 24          |
| 6.5 Križišče – obvoznica jug (B5) .....                             | 24          |
| 6.6 Križišče – obvoznica sever (B5) .....                           | 25          |
| <b>7 PROMETNE OBREMENITVE.....</b>                                  | <b>27</b>   |
| 7.1 Prometne obremenitve na križišču z Dimičevo ulico .....         | 27          |
| 7.2 Prometne obremenitve na križišču z Baragovo ulico .....         | 28          |

|           |                                                                               |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.3       | Prometne obremenitve na križišču s Kadilnikovo ulico .....                    | 28        |
| 7.4       | Prometne obremenitve na križišču z obvoznico – jug .....                      | 29        |
| 7.5       | Prometne obremenitve na križišču z obvoznico – sever .....                    | 30        |
| <b>8</b>  | <b>IZDELAVA PROMETNIH MODELOV .....</b>                                       | <b>31</b> |
| 8.1       | Prometni model – primerjava programov od zasnove do vnosa podatkov .....      | 31        |
| <b>9</b>  | <b>ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA .....</b>                                       | <b>35</b> |
| 9.1       | Rezultati analize učinkovitosti na križišču z Dimičevo ulico (B3) .....       | 35        |
| 9.2       | Rezultati analize učinkovitosti na križišču z Baragovo ulico (B4) .....       | 37        |
| 9.3       | Rezultati analize učinkovitosti na križišču s Kadilnikovo ulico (B25) .....   | 39        |
| 9.4       | Rezultati analize učinkovitosti na križišču z obvoznico – jug (B5) .....      | 40        |
| 9.5       | Rezultati analize učinkovitosti na križišču z obvoznico – sever (B5) .....    | 42        |
| 9.6       | Primerjava programov v fazi analize obstoječega stanja .....                  | 43        |
| <b>10</b> | <b>OPTIMIZACIJA KRMILNIH PARAMETROV KRIŽIŠČ .....</b>                         | <b>44</b> |
| 10.1      | Optimizacija krmilnega programa na križišču – Dimičeva ulica (B3) .....       | 48        |
| 10.2      | Optimizacija krmilnega programa na križišču – Baragova ulica (B4) .....       | 51        |
| 10.3      | Optimizacija krmilnega programa na križišču – Kadilnikova ulica (B25) .....   | 54        |
| 10.4      | Optimizacija krmilnega programa na križišču – obvoznica jug (B5) .....        | 57        |
| 10.5      | Optimizacija krmilnega programa na križišču – obvoznica sever (B5) .....      | 59        |
| 10.6      | Primerjava programov v fazi optimizacije v obliki linijske koordinacije ..... | 62        |
| <b>11</b> | <b>UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK .....</b>                                          | <b>63</b> |
| <b>12</b> | <b>VIRI .....</b>                                                             | <b>65</b> |

## KAZALO SLIK

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Variacija prometa glede na vrsto ceste (Vir: [10]) .....                                            | 6  |
| Slika 2: Medsebojna odvisnost hitrosti in gostote (Vir: [3]) .....                                           | 7  |
| Slika 3: Medsebojna odvisnost pretoka in hitrosti (Vir: [3]) .....                                           | 8  |
| Slika 4: Prikaz časovnega poteka v semaforiziranem križišču (Vir: [10]) .....                                | 10 |
| Slika 5: Shema koordinacije semaforiziranih križišč (Vir: [9]).....                                          | 11 |
| Slika 6: Prikaz nivojev uslug v odvisnosti hitrosti in pretoka (Vir: [5]).....                               | 14 |
| Slika 7: Mere uspešnosti za posamezen tip ceste (Vir: [10]) .....                                            | 15 |
| Slika 8: Obravnavano območje (Vir: Google Maps).....                                                         | 19 |
| Slika 9: Pregledna situacija obravnavane trase.....                                                          | 20 |
| Slika 10: Križišče Dunajske ceste z Dimičevo ulico (Vir: Google Maps) .....                                  | 21 |
| Slika 11: Križišče Dunajske ceste z Baragovo ulico (Vir: Google Maps).....                                   | 22 |
| Slika 12: Križišče Dunajske ceste s Kadilnikovo ulico (Vir: Google Maps).....                                | 23 |
| Slika 13: Semaforiziran prehod za pešce (Vir: Google Maps) .....                                             | 24 |
| Slika 14: Križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – jug (Vir: Google Maps).....                           | 25 |
| Slika 15: Križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – sever (Vir: Google Maps) .....                        | 26 |
| Slika 16: Prometna modela križišča z Dimičevo (B3) in Baragovo ulico (B4).....                               | 31 |
| Slika 17: Prometna modela za križišče s Kadilnikovo (B25) in za semaforiziran peš prehod (B5A) .....         | 32 |
| Slika 18: Prometna modela za križišči z obvoznico (B5) .....                                                 | 32 |
| Slika 19: Prometni model križišča z Dimičevo (levo) in z Baragovo ulico (desno).....                         | 33 |
| Slika 20: Prometni model za križišče s Kadilnikovo ulico (levo) in za semaforiziran peš prehod (desno) ..... | 33 |
| Slika 21: Prometna modela za križišči z obvoznico jug (levo) in sever (desno) .....                          | 33 |
| Slika 22: Vnos podatkov o signalnih napravah v programu Sidra .....                                          | 34 |
| Slika 23: Vnos podatkov o signalnih napravah v PTV Vistro .....                                              | 34 |
| Slika 24: Prikaz postopka za določitev optimalnega cikla (C) v programu Sidra .....                          | 46 |
| Slika 25: Primer časovno-prostorskega diagrama v programu Sidra (Vir: [2]) .....                             | 46 |
| Slika 26: Postopek izračuna optimalnega cikla (C) v programu Vistro .....                                    | 47 |
| Slika 27: Časovno-prostorski diagram v programu PTV Vistro .....                                             | 48 |

## KAZALO PREGLEDNIC

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Preglednica 1: Funkcija in vrsta ceste .....                                                | 3  |
| Preglednica 2: Prikaz zahtevanega nivoja uslug in deleža PLDP glede na funkcijo ceste ..... | 3  |
| Preglednica 3: Sestavljenost prometnega toka .....                                          | 4  |
| Preglednica 4: Splošni pogoji odvijanja prometa .....                                       | 5  |
| Preglednica 5: osnovni parametri krmilnega programa semaforjev .....                        | 9  |
| Preglednica 6: Nivoji uslug za semaforizirana križišča .....                                | 15 |
| Preglednica 7: Podatki o Dunajski cesti .....                                               | 20 |
| Preglednica 8: Podatki o štetju – Dimičeva ulica .....                                      | 27 |
| Preglednica 9: Podatki o štetju – Baragova ulica .....                                      | 28 |
| Preglednica 10: Podatki o štetju – Kadilnikova ulica .....                                  | 28 |
| Preglednica 11: Podatki o štetju – mestna obvoznica (jug) .....                             | 29 |
| Preglednica 12: Podatki o štetju – mestna obvoznica (sever) .....                           | 30 |
| Preglednica 13: Rezultati analize – Dimičeva ulica (B3).....                                | 36 |
| Preglednica 14: Rezultati analize – Baragova ulica (B4).....                                | 38 |
| Preglednica 15: Rezultati analize – Kadilnikova ulica (B25).....                            | 40 |
| Preglednica 16: Rezultati analize – obvoznica jug (B5).....                                 | 41 |
| Preglednica 17: Rezultati analize – obvoznica sever (B5).....                               | 43 |
| Preglednica 18: Rezultati optimizacije – križišče Dimičeva ulica (B3).....                  | 49 |
| Preglednica 19: Rezultati optimizacije – križišče Baragova ulica (B4) .....                 | 52 |
| Preglednica 20: Rezultati optimizacije – križišče Kadilnikova ulica (B25) .....             | 55 |
| Preglednica 21: Rezultati optimizacije – križišče obvoznica jug (B5).....                   | 57 |
| Preglednica 22: Rezultati optimizacije – križišče obvoznica sever (B5).....                 | 60 |

## KAZALO GRAFIKONOV

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafikon 1: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Dimičeva ulica .....            | 35 |
| Grafikon 2: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Baragova ulica .....            | 37 |
| Grafikon 3: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Kadilnikova ulica .....         | 39 |
| Grafikon 4: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – obvoznica jug .....             | 41 |
| Grafikon 5: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – obvoznica sever .....           | 42 |
| Grafikon 6: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Dimičeva ulica (B3) .....          | 48 |
| Grafikon 7: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Dimičeva ulica (B3) .....      | 50 |
| Grafikon 8: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Dimičeva ulica (B3) .....     | 50 |
| Grafikon 9: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Baragova ulica (B4) .....          | 51 |
| Grafikon 10: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Baragova ulica (B4) .....     | 53 |
| Grafikon 11: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Baragova ulica (B4) .....    | 53 |
| Grafikon 12: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Kadilnikova ulica (B25) .....     | 54 |
| Grafikon 13: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Kadilnikova ulica (B25) ....  | 56 |
| Grafikon 14: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Kadilnikova ulica (B25) .... | 56 |
| Grafikon 15: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – obvoznica jug (B5) .....          | 57 |
| Grafikon 16: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – obvoznica jug (B5) .....      | 58 |
| Grafikon 17: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – obvoznica jug (B5) .....     | 59 |
| Grafikon 18: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – obvoznica sever (B5) .....        | 60 |
| Grafikon 19: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – obvoznica sever (B5) .....    | 61 |
| Grafikon 20: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – obvoznica sever (B5) .....   | 62 |

## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS**

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| PLDP | povprečni letni dnevni promet |
| NU   | nivo uslug                    |
| LOS  | level of service              |
| HCM  | Highway Capacity Manual       |
| LC   | lokalna cesta                 |
| ZC   | zbirna cesta                  |
| JK   | jutranja konica               |
| MOC  | Mestna obvozna cesta          |

## 1 UVOD

V današnjem času imamo na naših cestah vedno več vozil. K temu so pripomogli zastarelost in slaba povezanost železniškega prometa, nezanesljivost javnega prometnega omrežja in cenovna dostopnost motornih vozil za povprečnega človeka. Tudi zaradi novega koronavirusa se vse več ljudi poskuša izogniti javnemu potniškemu prometu. To vse pripomore k vedno večjim prometnim obremenitvam, posledično pa se vsakodnevno srečujemo z velikimi zamudami in daljšimi potovalnimi časi, kar pa se, zaradi signalnih naprav in konfliktnih točk, pojavlja predvsem v križiščih. Prav zaradi tega je zasnova in načrtovanje le-teh zelo pomembna.

Na zasnovo in projektiranje križišč vpliva več kriterijev, potrebno pa je ustrezno določiti več geometrijskih in tehničnih karakteristik. Pri prometnih študijah si lahko pomagamo s številnimi analitičnimi in simulacijskimi programskimi orodji, ki nam dajo boljšo predstav o uspešnosti in upravičenosti določenih variant. Predvsem si želimo čim bolj optimalno prepustnost in pretočnost ob upoštevanju kriterijev in zakonskih predpisov.

V magistrskem delu bomo na primeru Dunajske ceste v Ljubljani s pomočjo dveh analitičnih programskih orodij analizirali prepustnost in kapaciteto, ter določili optimalno vodenje signalnih naprav vzdolž mestne arterije. Opravljena analiza bo podala ključne podatke o primerjavi obeh programskih orodij, od zasnove prometnega modela, vnosa podatkov, do analize obstoječega stanja in optimizacije celotne mreže križišč.

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Kot tudi na drugih področjih, imamo tudi pri cestah veliko število zakonov in pravilnikov, ki nam narekujejo projektiranje, gradnjo, vzdrževanje ter upravljanje cestne infrastrukture. Eden pomembnejših je Pravilnik o projektiranju cest (Uradni list RS, št. 91/05 z dne 14. 10. 2005). V njem je podrobneje določena razvrstitev ceste glede na funkcijo in glede na vrsto ceste. Ta razvrstitev je podrobneje določena v Preglednici 1:

Preglednica 1: Funkcija in vrsta ceste

| <b>Funkcija ceste:</b> | <b>Oznaka</b> | <b>Vrsta ceste:</b>                  | <b>Oznaka</b> |
|------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| Daljinska cesta        | DC            | avtocesta, hitra cesta, glavna cesta | AC, HC, GC    |
| Povezovalna cesta      | PC            | glavna cesta, regionalna cesta       | GC, RC        |
| Zbirna cesta           | ZC            | regionalna cesta, lokalna cesta      | RC, LC        |
| Dostopna cesta         | DP            | lokalna cesta, javna pot             | LC, LP        |

Glede na funkcijo ceste je v pravilniku določena tudi kvalitativna ocena razmer na cesti (Nivo uslug od A do F), ki se izračuna po metodi HCM. Ta je, kot je prikazano v preglednici, zahtevan za novo cesto oziroma križišče ali rekonstrukcijo le-tega.

V primeru, da nimamo podatka o koničnih urah, se za določitev nivoja uslug uporabijo deleži PLDP. To je prikazano v spodnji preglednici.

Preglednica 2: Prikaz zahtevanega nivoja uslug in deleža PLDP glede na funkcijo ceste

| <b>Funkcija ceste:</b> | <b>Delež PLDP (%)</b> | <b>Nivo uslug</b> |
|------------------------|-----------------------|-------------------|
| Daljinska cesta        | 12                    | D                 |
| Povezovalna cesta      | 10                    | E                 |
| Zbirna cesta           | 9                     | E                 |
| Dostopna cesta         | 8                     | E                 |

Pravilnik v 10. členu določa tudi zahtevano plansko dobo, v kateri se za projektiranje novega ali rekonstrukcije in obnove obstoječega objekta upoštevajo prometne obremenitve, ki so napovedane za dvajsetletno obdobje.

## 2.1 Prometno dimenzioniranje in načrtovanje

V praksi se izvede prometna študija, s pomočjo katere se izbere optimalni tip križišč, ki so lahko krožna, semaforizirana ali pa nesemaforizirana. Zasnova in načrtovanje sta odvisna od več različnih dejavnikov. Kot je navedeno v viru [13], nam optimalni izbor ureditve križišč narekujejo naslednji kriteriji:

- kriterij prepustnosti in nivoja uslug,
- kriterij prometne varnosti,
- funkcionalni kriterij,
- projektno-tehnični kriterij,
- prostorski kriterij,
- okoljski kriterij,
- kriterij družbeno ekonomske upravičenosti.

Prometne analize lahko izvedemo z uporabo najrazličnejših programskih orodij, v katerih se na podlagi kriterija prepustnosti in nivoja uslug določi optimalne parametre.

Ti programi spadajo pod analitično-deterministična orodja, ki delujejo na principu metode HCM in omogočajo različne analitične postopke. Z njimi torej vidimo uspešnost serviranja prometnih zahtev in jih s temi programi lahko tudi optimiziramo.

## 2.2 Značilnosti prometnih tokov

Prometni tok je lahko zelo nepredvidljiv, dinamičen in hitro spremenljiv. Da bi lahko čim bolj natančno opisali prometni tok, moramo poleg poznavanja zakonitosti gibanja motornih vozil poznati tudi karakteristike prometnih tokov:

- sestavljenost prometnega toka,
- splošne pogoje odvijanja prometa,
- sestavo ali strukturo prometnega toka,
- časovno neenakomernost prometnega toka.

### 2.2.1 Sestavljenost prometnega toka

Ko opisujemo sestavljenost prometnega toka moramo vedeti, koliko nizov se pojavlja v prometnem toku. V Preglednici 3 je to tudi prikazano.

Preglednica 3: Sestavljenost prometnega toka

| Prometni tok: | Niz vozil:  | Primer:                                         |
|---------------|-------------|-------------------------------------------------|
| Enostaven     | en          | enopasovna cesta                                |
| Sestavljen    | dva ali več | večpasovna cesta, križišča, območja prepletanja |

## 2.2.2 Splošni pogoji odvijanja prometa

Glede na odvijanje prometa so prometni tokovi lahko ovirani, delno ovirani in neovirani. To je podrobneje prikazano v Preglednici 4:

Preglednica 4: Splošni pogoji odvijanja prometa

| Prometni tok: | Vzrok:                                    | Primer:                       |
|---------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| Neoviran      | gostota prometnega toka                   | avtocesta                     |
| Delno oviran  | gostota prometnega toka in elementi ceste | vpletanje in izpletanje pasov |
| Oviran        | elementi ceste (semaforji)                | mestna cesta, križišče        |

## 2.2.3 Struktura prometnega toka

Pri strukturi prometnega toka razločujemo glede na homogen in nehomogen prometni tok, v teoriji pa se za lažje reševanje problemov uporablja tudi pogojno homogen prometni tok.

- Homogen prometni tok je sestavljen iz ene vrste vozil (samo tovorna, samo osebna vozila). V praksi ga izredno težko najdemo.
- Nehomogen prometni tok je realen tok, ki je sestavljen iz več vrst kategorij vozil. V praksi se z deležem tovornih vozil izraža nehomogenost prometnega toka.
- Pogojno homogen prometni tok je teoretična aproksimacija, pri kateri se nehomogen tok pretvori v homogenega.

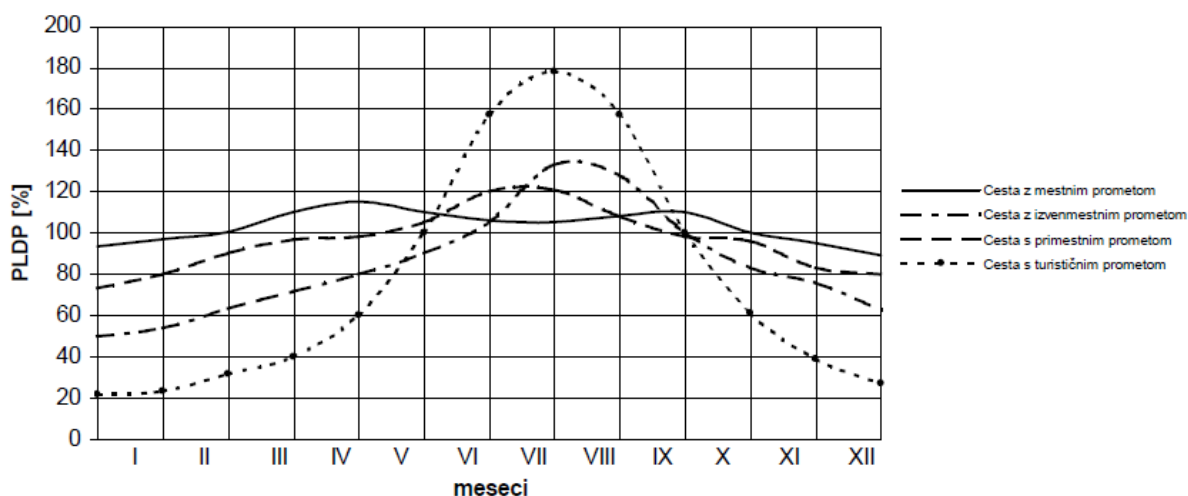
## 2.2.4 Časovna neenakomernost prometnih tokov

Število vozil, ki v določenem časovnem obdobju prevozi nek presek ceste, predstavlja prometno obremenitev ceste. Za analizo se lahko upoštevajo časovni intervali kot so: leto, mesec, teden, dan, ura, petnajst minut in pet minut. Promet se šteje z avtomatskimi števci ali na drug način, iz katerega se določi povprečni letni dnevni promet (PLDP) [10].

Variacije prometnih obremenitev so odvisne od več dejavnikov:

- vloga in namen ceste v cestni mreži,
- stanje in kvaliteta vozišča,
- letni čas, vremenski pogoji.

Na Sliki 1 je prikazana variacija prometa glede na vrsto ceste. Neenakomernost odvijanja prometa je najbolj vidna pri cestah s turističnim prometom.



Slika 1: Variacija prometa glede na vrsto ceste (Vir: [10])

**Faktor konične ure (FKU):** je razmerje med maksimalno časovno obremenitvijo v urni konici (konični uri), v kateri je zajet seštevek prometne obremenitve po časovnih intervalih znotraj obravnavane ure in maksimalno obremenitvijo prometa v časovnem intervalu [7].

Faktor konične ure je definiran po spodnji enačbi (1) [7]:

$$FKU = \frac{\text{prometna obremenitev v konični uri}}{\text{maksimalna prometna obremenitev}} = \frac{\sum_{i=1}^4 Q_i^{15}}{4 * Q_{i,\max}^{15}} \quad (1)$$

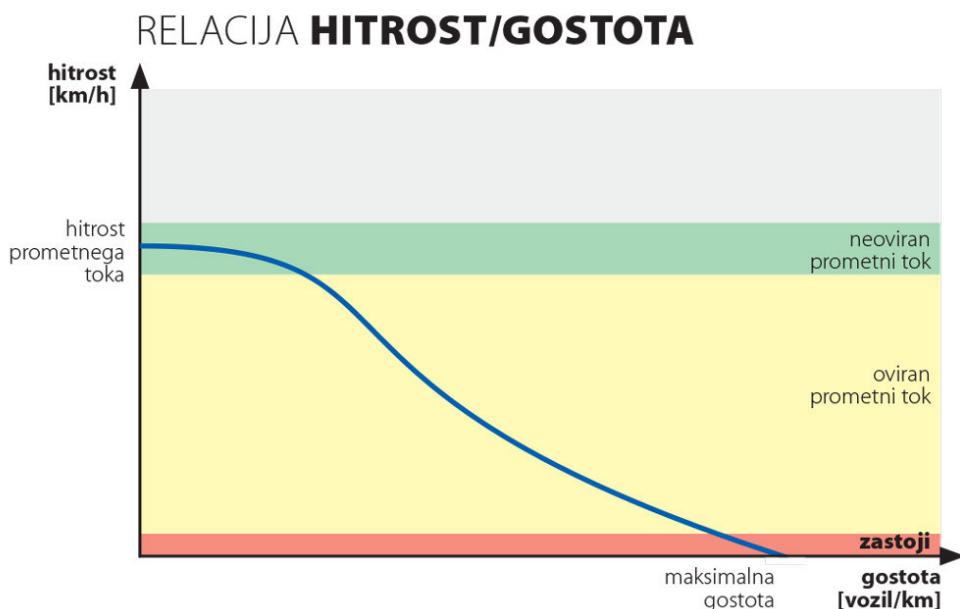
### 3 OSNOVNI PARAMETRI PROMETNEGA TOKA

Osnovni parametri prometnega toka so pokazatelji, s katerimi opisujemo urejeno gibanje vozil na prometnici. Ker je v gibanje vpleteno več vozil, je v prometnem toku pomembna medsebojna odvisnost med posameznimi vozili. Najpomembnejši osnovni parametri prometnega toka so naslednji [10]:

- pretok vozil ( $q$ ),
- gostota ( $g$ ),
- hitrost ( $S$ ),
- časovni razmak med vozili ( $d_h$ ),
- čas potovanja vozila v toku ( $t$ ),
- razmak sledenja med vozili ( $S_h$ ).

Pomembna parametra pa sta tudi prepustnost in volumen vozil, ki predstavlja celotno število vozil, ki prevozijo cestni presek (enota je vozil/h). Ta določa največje število vozil, ki lahko v neki enoti časa, peljejo skozi nek presek ceste. Odvisna pa je od več različnih faktorjev, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju.

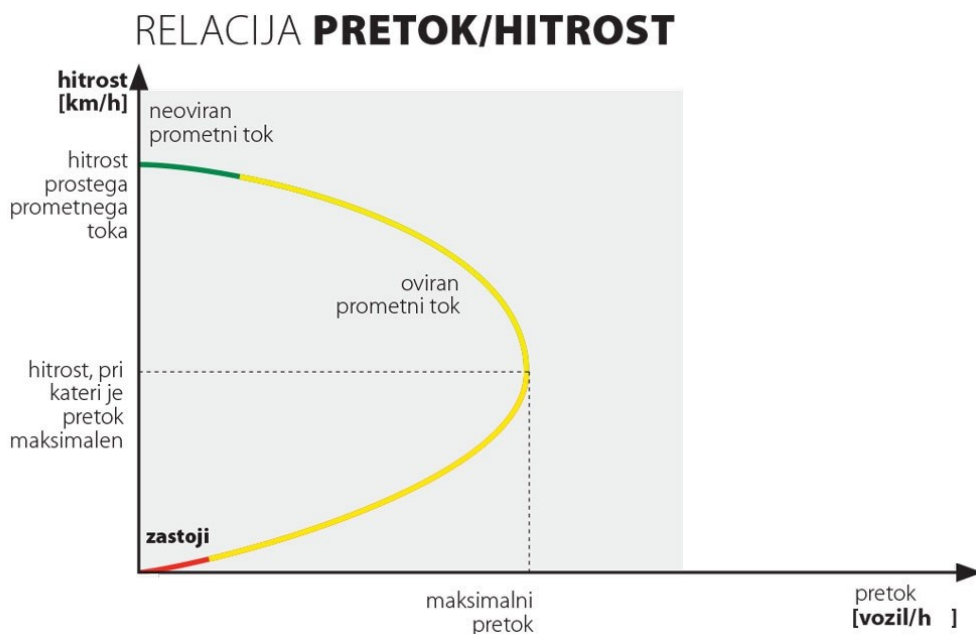
Kot je navedeno v viru [3], so glavni trije parametri (pretok, gostota in hitrost) med seboj zelo povezani. Odvisnosti med temi parametri so prikazani na Sliki 2 in na Sliki 3.



Slika 2: Medsebojna odvisnost hitrosti in gostote (Vir: [3])

Kot lahko vidimo, hitrost v neoviranem prometnem toku pada z naraščanjem gostote in pretoka. Gostota narašča dokler ne pride do popolnega zastoja [ $g_{max}$ ]. Z naraščanjem gostote narašča tudi pretok vse do optimalne gostote, potem pa narašča le še gostota, pretok pa se manjša, dokler ne pride do zastoja oziroma do maksimalne gostote.

V neoviranem prometnem toku pa se z naraščanjem pretoka zmanjšuje hitrost vse do maksimalnega pretoka ( $q_{max}$ ), nato pa upadeta tako pretok kot tudi hitrost.



Slika 3: Medsebojna odvisnost pretoka in hitrosti (Vir: [3])

### 3.1 Oviran prometni tok

Oviran prometni tok je malce bolj zapleten kot pa neoviran. Po navadi oviran tok nastane zaradi ustavljanja vozil, ki so posledica svetlobno signalnih naprav ali pa prometnih znakov, ki nam narekujejo da se ustavimo.

Parametri, ki nam narekujejo oviranost prometnega toka, so volumen, pretok, izgubljeni časi v križiščih, zamude in zasičen prometni tok [6].

#### 3.1.1 Semaforizirana križišča

Oviran tok nastane predvsem pri semaforiziranih križiščih, kjer svetlobno signalne naprave predstavljajo oviro, ki povzroči zaustavljanje prometnega toka. Za tako zaustavljanje je značilno, da se odvija periodično. To pomeni, da se gibanje dogaja le v določenem času in ta čas imenujemo zeleni čas.

Ko se na križišču prižge zelena luč, potrebujejo motorna vozila nekaj časa, da speljejo in pospešijo do neke hitrosti. Po preteku tega časa nastane homogen tok z določeno hitrostjo vožnje. Za potrebe kapacitete in nivoja uslug se za semaforizirana križišča uporablja enota vozil na uro zelenega signala (vozil/h).

**Zasičen prometni tok** predstavlja, kot navaja vir [10], število vozil na posameznem pasu, ki lahko prevozijo križišče, če je zeleni signal na voljo celo uro in ob predpostavki, da tok vozil ni nikoli prekinjen. Izračuna se po enačbi:

$$s = \frac{3600}{h},$$

pri čemer je:

s zasičen prometni tok [vozil/h/pas],

h časovni interval v zasičenem prometnem toku,

3600 število sekund v eni uri.

(2)

### 3.1.1.1 Osnovni parametri semaforiziranih križišč

Krmilni program semaforjev je sestavljen iz več parametrov, ki jih je za dobro delovanje križišč potrebno ustrezno določiti [15].

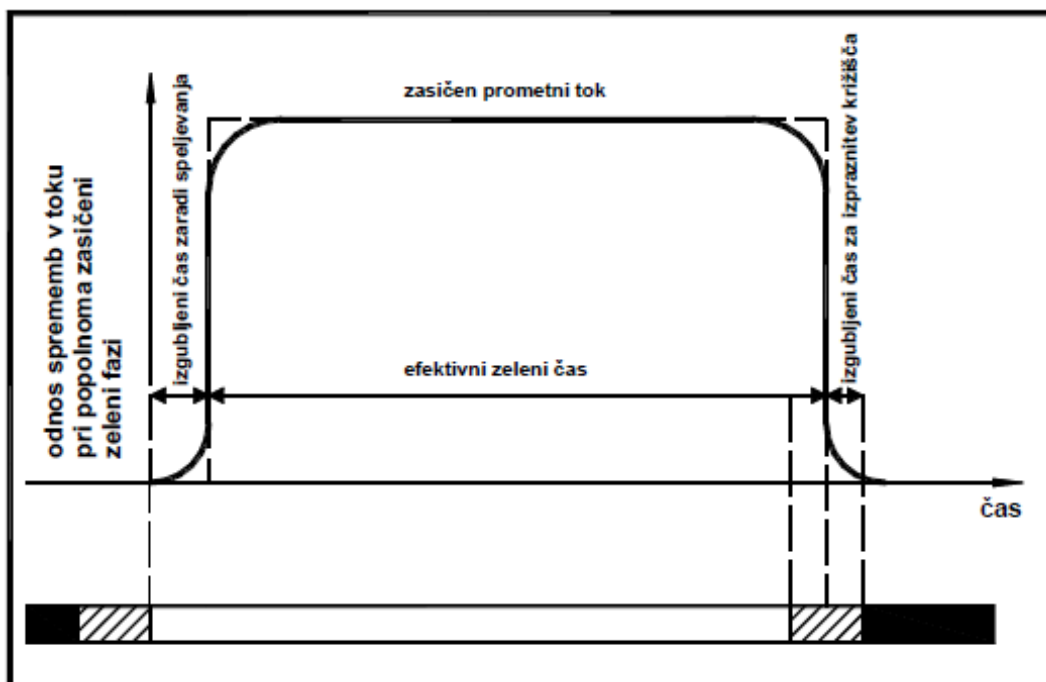
Preglednica 5: osnovni parametri krmilnega programa semaforjev

| Parametri           | Oznaka         | Opis                                                                                                                      |
|---------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cikel               | C              | čas, ki preteče od posamezne kombinacije signalov do ponovnega začetka iste kombinacije                                   |
| Zeleni čas          | G <sub>i</sub> | čas, ko je za posamezno fazo prižgana zelena luč                                                                          |
| Delež zelene luči   | /              | razmerje med efektivnim zelenim časom in dolžino semafornega cikla                                                        |
| Vmesni čas          | Y              | čas prižiga rumene luči in luči "vse rdeče", ki se pojavita med fazami in omogočata varno izpraznitev križišča            |
| Efektivno rdeči čas | r <sub>i</sub> | predstavlja čas, ko posamezna skupina voznih pasov ne sme prečkati križišča                                               |
| Izgubljeni čas      | /              | čas, ko se križišče efektivno ne uporablja za nobeno skupino voznih pasov                                                 |
| Interval            | /              | predstavlja čas trajanja posameznih svetlobnih znakov                                                                     |
| Signalna faza       | /              | predstavlja čas trajanja prostega časa za posamezno skupino voznih pasov in se določi kot vsota zelenega in vmesnega časa |

**Efektivni zeleni čas** dobimo tako, da času zelene faze prištejemo vmesni čas in odštejemo izgubljeni čas speljevanja ter izgubljeni čas praznjenja križišča [10].

- *Vmesni čas* je varovalni čas, ki ob prekinitvi prometnega toka omogoča varno izpraznitev križišča.
- *Izgubljeni čas za izpraznitev križišča* je čas, ko naj ne bi bilo nobenega vozila v križišču, ampak v praksi je to neizvedljivo. V praksi je v tem času na semaforju prižgana rumena luč.
- *Izgubljeni čas zaradi speljevanja* se pojavi ob prižigu zelene luči, saj vsako vozilo potrebuje določen čas da spelje in doseže neko konstantno hitrost.

Variacije, ki so povezane s časom pri popolnoma zasičeni zeleni fazi, so prikazane na naslednji sliki.



Slika 4: Prikaz časovnega poteka v semaforiziranem križišču (Vir: [10])

### 3.1.1.2 Koordinacija semaforiziranih križišč

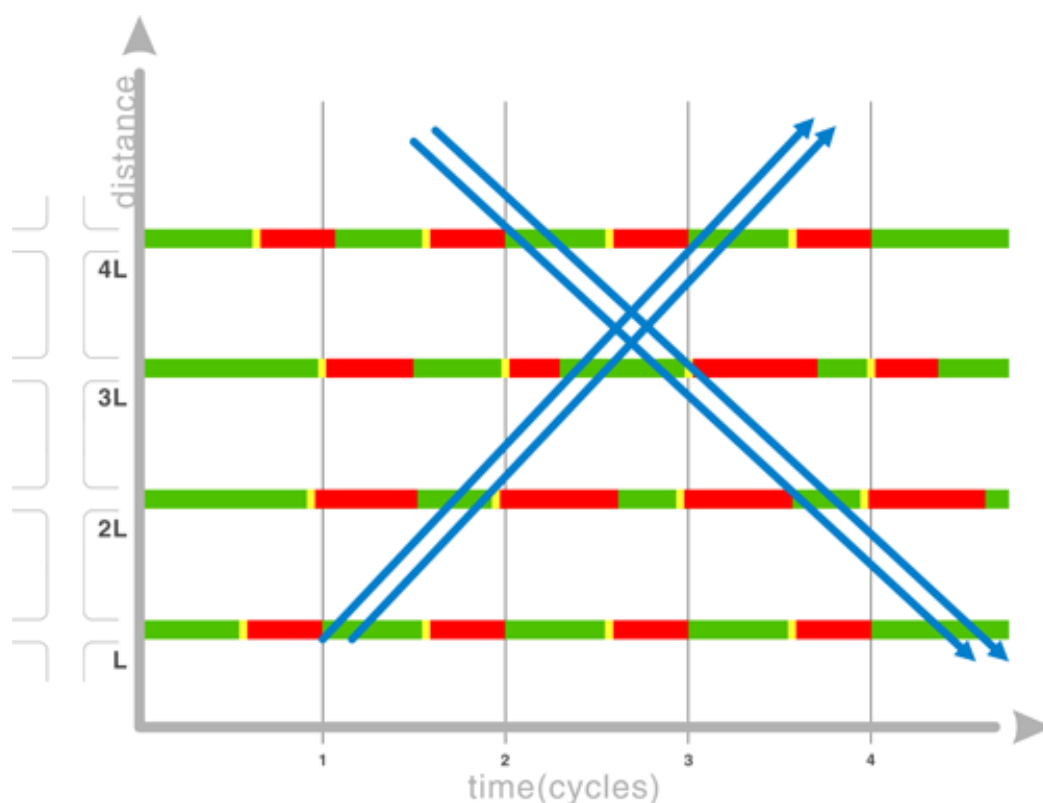
Bistvo koordinacije semaforiziranih križišč je v tem, da poskušamo največjemu možnemu številu vozil zagotoviti vožnjo skozi sistem koordiniranih križišč. Način potovanja mora biti varen in udoben, s čim manj ustavljanj ter z najkrajšimi postanki. Želimo torej, da je čas potovanja čim krajši in da je onesnaževanje zraka čim manj, zaradi manj pospeševanj.

Idealno bi bilo, če bi vsako novo vozilo v sistemu nadaljevalo gibanje brez ustavljanja. Kljub dobro zasnovanim in krmiljenim prometnim sistemih to ni izvedljivo. Poznamo odprte in zaprte sisteme semaforiziranih križišč.

Koordinacija se lahko izvede na odprti mreži (mestna vpadnica, arterija) ali pa na zaprti mreži (središče mesta). Kot je navedeno v viru [9], so trije najpomembnejši parametri koordinacije:

- dolžina cikla (C),
- razdelitev cikla na zelene čase – signal split,
- časovni zamik – offset (začetek delovanja referenčne faze glede na časovno točko 0, na posameznem križišču).

Primer sheme koordinacije semaforiziranih križišč je prikazan na Sliki 5:



Slika 5: Shema koordinacije semaforiziranih križišč (Vir: [9])

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## 4 ANALIZA UČINKOVITOSTI IN NJENI INDIKATORJI

Študije in analize so pri planiranju in projektiranju izrednega pomena. V sklopu le – teh nam analiza kapacitete omogoča, da lahko ustrezno določimo [6]:

- dimenzije ceste (določitev števila in širine pasov),
- tip ceste (za planiranje nove ali rekonstrukcijo obstoječe ceste),
- prečni profil ceste za dan PLDP,
- nivo uslug obstoječega cestnega omrežja (med prometnimi konicami),
- morebitne spremembe pri planiranju cestne mreže in
- oceno vrednosti stroškov, hrupa, emisije in porabo goriva.

### 4.1 Kapaciteta in njen izračun

Kapaciteta predstavlja največje število vozil, ki lahko prečkajo določen cestni presek v nekem določenem obdobju, v prevladujočih razmerah na cestišču. Analiza kapacitete preučuje segmente ali točke (kot so signalizirana križišča) objekta pod enotnimi cestno-prometnimi pogoji [10].

Ti pogoji določajo zmogljivost oziroma kapaciteto, zato bodo imeli segmenti z različnimi prevladujočimi pogoji različne kapacitete. Kapaciteta se računa pri običajnih oziroma prevladujočih cestno-prometnih pogojih na cestnem odseku. Če pogoji preveč nihajo, se za merodajne pogoje izbere najslabše pogoje na določenem preseku [6]. Kapaciteta se lahko izraža v enotah osebe/uro ali vozil/uro.

Kapaciteto se za semaforizirana križišča izračuna glede na posamezno skupino voznih pasov, enačba (3) [6] pa je naslednja:

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C},$$

kjer je:

- |       |                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----|
| $c_i$ | kapaciteta za posamezno skupino voznih pasov (vozil/h),        | (3) |
| $s_i$ | nasičen prometni tok posamezne skupine voznih pasov (vozil/h), |     |
| $g_i$ | efektivni čas zelene luči posamezne skupine voznih pasov (s),  |     |
| $C$   | dolžina semafornega cikla (s).                                 |     |

## 4.2 Nivo uslug (NU)

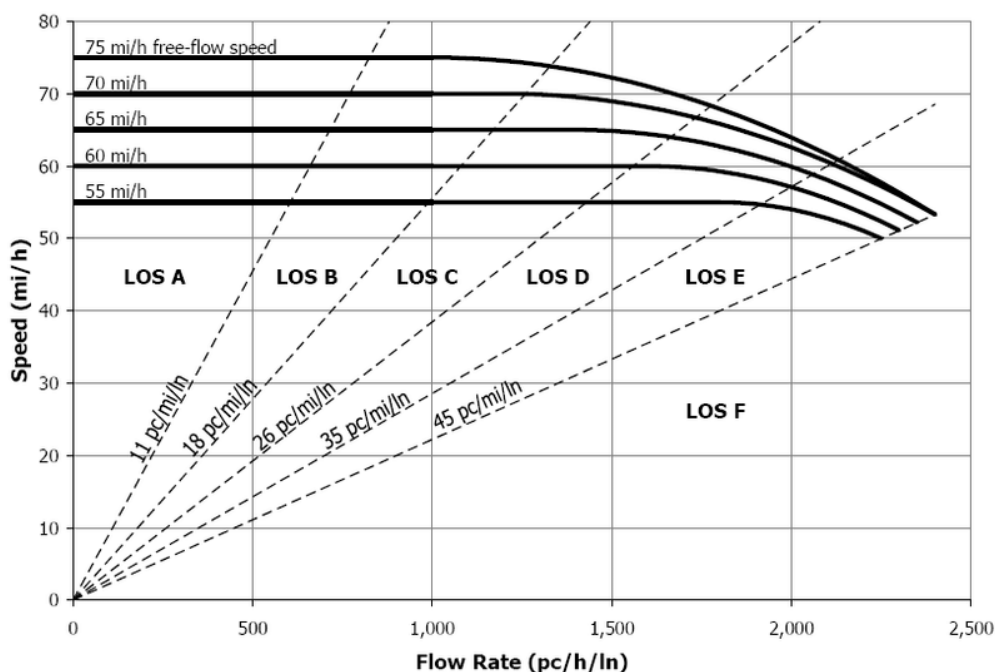
Nivo uslug (Level of service) je merilo kakovosti, ki opisuje pogoje odvijanja prometnega toka. Gre torej za oceno razmer v splošnem in v smislu storitev, kot so hitrost in čas potovanja, ter pogostost prekinitev prometa [5].

Na kakovost prometnih zahtev oziroma nivo uslug vpliva več faktorjev [10]:

- hitrost in čas vožnje,
- prometni zastoji,
- udobnost vožnje,
- svoboda manevriranja z vozilom in
- varnost in stroški uporabe vozila.

Za vsako vrsto cestnega objekta, ki ima na voljo analitične postopke, je definiranih šest nivojev uslug. Črke A – F označujejo ravni, pri čemer NU A predstavlja najboljše pogoje odvijanja prometnega toka, NU F pa najslabše. Vsak nivo predstavlja vznokovno zaznavanje teh pogojev. Varnost vožnje v tem primeru ni vključena.

Nivo uslug se lahko oceni tudi na podlagi razmerja med pretokom ( $q$ ) in kapaciteto ( $c$ ). Tako ima vsak nivo svoj maksimalen pretok, le pri NU F je pretok nedoločljiv zaradi nestabilnosti toka. Realna prepustnost se v praksi pojavi pri nivoju uslug E, v tem primeru je tudi pretok enak kapaciteti.



Slika 6: Prikaz nivojev uslug v odvisnosti hitrosti in pretoka (Vir: [5])

Za semaforizirana križišča so nivoji uslug določeni na podlagi zamud na posamezno vozilo. V Preglednici 6 lahko vidimo katera zamuda ustreza določenemu nivoju uslug [15].

Preglednica 6: Nivoji uslug za semaforizirana križišča

| Nivo uslug | Zamuda (s/vozilo) |
|------------|-------------------|
| A          | $\leq 10$         |
| B          | $> 10 - 20$       |
| C          | $> 20 - 35$       |
| D          | $> 35 - 55$       |
| E          | $> 55 - 80$       |
| F          | $> 80$            |

#### 4.3 Mere uspešnosti (MU)

Nivoji uslug so pri vsakem posameznem tipu ceste določeni s pomočjo enega ali več indikatorjev. Imenujejo se mere uspešnosti in z njimi najbolje opišemo, kako kvalitetno se odvija promet [10].

| VRSTA CESTE oziroma PROMETA    | OSNOVNE MERE USPEŠNOSTI                                 |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Avtocesta, osnovni odsek       | Gostota [EOV/km/pas]                                    |
| Avtocesta, območja prepletanja | Gostota [EOV/km/pas]                                    |
| Avtocesta, rampe               | Gostota [EOV/km/pas]                                    |
| Večpasovna cesta               | Gostota [EOV/km/pas]                                    |
| Dvopasovna cesta               | Procent zamud [%]<br>Povprečna potovalna hitrost [km/h] |
| Semaforizirana križišča        | Povprečna zamuda zaradi ustavljanja [s/vozilo]          |
| Nesemaforizirana križišča      | *Neizkoriščena kapaciteta [EOV/h]                       |
| Mestne arterije                | Povprečna potovalna hitrost [km/h]                      |
| Mestni potniški promet         | Faktor zasedenosti [oseb/sedež]                         |
| Pešci                          | Razpoložljiv prostor [ $m^2$ /pešec]                    |

Slika 7: Mere uspešnosti za posamezen tip ceste (Vir: [10])

#### 4.4 Povprečne zamude in razmerje $v/c$

Zamude in razmerje volumna ter kapacitete ( $v/c$ ) sta poglavitna pri ocenjevanju pretočnosti in izkoriščenosti stanja na semaforiziranih križiščih. Medtem ko se zamude uporabljajo predvsem za oceno nivoja uslug, je razmerje  $v/c$  pokazatelj zmogljivosti oziroma uspešnosti križišča.

Zamude so v praksi izgubljen čas potovanja vozil, ki so v času analize peljejo skozi dano območje. Metoda HCM omogoča izračun zamud tako za posamezen vozni pas, priključek kot tudi za celotno križišče. Kot je navedeno v viru [8] je enačba za izračun zamud za posamezno vozilo na voznem pasu:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (4)$$

kjer je:

- $d$  povprečna zamuda na vozilo zaradi vodenja prometa (s/vozilo),
- $d_1$  konstantna zamuda pri konstantnem prihodu vozil (s/vozilo),
- $d_2$  zamuda zaradi neenakomernih prihodov vozil in prenasíčenosti čakalnih vrst (s/vozilo),
- $d_3$  začetna zamuda vozil v koloni (s/vozilo),
- $PF$  izravnalni faktor progresije pri konstantni zamudi, ki je odvisen od tega koliko vozil v določenem delu cikla prispe na priključek.

## 5 UPORABLJENA PROGRAMSKA ORODJA

### 5.1 Program Sidra Intersection

Programsko orodje Sidra Intersection (Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid), ki je v lasti podjetja Sidra Solutions, predstavlja najbolj prepoznaven produkt tega podjetja. Gre za napredno mikroanalitično ocenjevalno orodje, ki uporablja modele prometa in voznega cikla vozil na ravni voznega pasu [1].

V programu je možno zasnovati vse vrste križišč: semaforizirana križišča, krožna križišča, nesemaforizirana križišča in semaforizirane peš prehode. Je zelo priznано programsko orodje, ki se uporablja za:

- planiranje in načrtovanje prometa,
- analizo zmogljivosti oziroma kapacitete križišča, kot tudi večjega omrežja križišč,
- določitev nivoja uslug in učinkovitosti posameznih križišč.

Prva izdaja programa je bila leta 1984, od takrat se je uporaba programa razširila po vsem svetu. Pri Sidri uporabljajo različne razširitve oziroma dopolnitve priročnika, ki denimo vključuje analizo križišč na podlagi posameznega voznega pasu, modeliranje zapletenih primerov kratkih pasov, podrobno modeliranje geometrijskih zamud, analizo omrežja v primeru zapore ali delne zapore pasu in pa tudi ceno obratovanja, porabe goriva in ocene emisij [14]. Rezultati, ki nam jih program ob analizi ponudi, so:

- nivo uslug,
- časovne zamude,
- dolžina kolone,
- povprečna hitrost,
- stopnja zasičenosti.

### 5.2 Program PTV Vistro

Programsko orodje PTV Vistro je produkt podjetja PTV Group, ki omogoča uporabo naslednjih programov [12]:

- PTV Vistro – analitično programsko orodje,
- PTV Vissum – makroskopsko programsko orodje,
- PTV Vissim – mikrosimulacijsko programsko orodje.

Med njimi je možno enostavno izvažanje in uvažanje podatkov (datotek). Simulacijski program Vissim denimo omogoča prikaz prometnega modela zasnovanega v programu Vistro.

V osnovi gre pri programskem orodju PTV Vistro za analitično orodje, ki omogoča modeliranje, simuliranje in optimiziranje najrazličnejših vrst križišč. Program uporablja metode Highway Capacity Manuala (HCM 2000, 2010, 6 in 7), Intersection Capacity utilization (ICU), ITE's Trip Generation, Kimber metode in Circular 212 [12].

Program omogoča:

- enostavno kreiranje in vizualizacija mreže,
- vizualno prikazovanje rezultatov na mreži (nivo uslug, časovne zamude),
- neomejeno število scenarijev,
- izdelavo poročila z vsemi podatki in rezultati analiz,
- grafično prikazovanje diagrama za sprotno spreminjanje dolžin posameznih faz,
- optimizacijo krmilnih programov semaforjev in
- optimizacijo v obliki linijske koordinacije.

### 5.3 Začetna primerjava programskih orodij

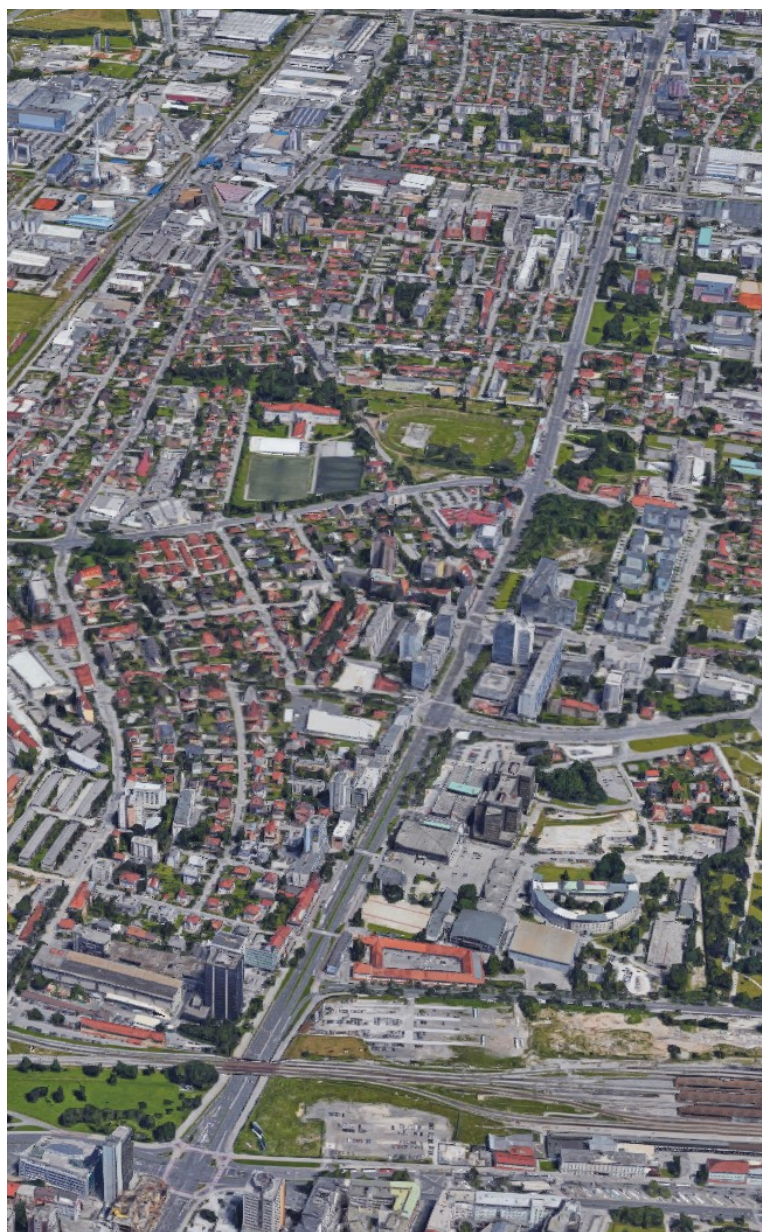
Prva uporaba obeh programskih orodij nam ponudi kar nekaj vtisov glede obeh programov. Program Sidra Intersection na prvi pogled deluje malce starejše in malo bolj okorno. Izgled je preprost, izbirni menu s preprostimi ukazi je na vrhu programa. Za podlogo nima zemljevida, ki bi služil za pomoč pri tvorjenju cestne mreže. S pritiskom na določene ukaze se vedno odpre novo okno, ki je malce v napoto in nam povzroča dodatno klikanje ter izgubo časa.

Program PTV Vistro na prvi pogled deluje modernejše, privlačneje. Za podlogo nam služi zemljevid sveta, ki nam olajša kreiranje mreže križišč. Ukazna vrstica je locirana navpično ob levem robu, kjer najdemo vse ukaze, ki na prvi pogled niso prav pregledni. Na zaslonu imamo tudi podokno, v katerem so prikazani posamezni ukazi (npr. prostor za vpis podatkov). Tako lahko hkrati izbiramo križišče in pregledujemo ali pa vpisujemo podatke.

## 6 OBRAVNAVANO OBMOČJE

Primerjavo optimizacije krmilnih parametrov v obeh zgoraj opisanih programskih orodjih smo izvedli na Ljubljanski mestni arteriji – Dunajski cesti. V obeh programskih orodjih smo zasnovali križišča in mrežo ter določili linijsko koordinacijo vzdolž Dunajske ceste.

Dunajska cesta predstavlja eno glavnih mestnih vpadnic, saj center Ljubljane povezuje z Ljubljano – Bežigradom, Ježico in s kraji severno od Ljubljane (Trzin, Domžale, Kamnik). V enem izmed križišč se na Dunajsko ceste priključita tudi uvoz in izvoz na severno Ljubljansko obvoznico (LJ- Bežigrad), kar generira ogromno število prometnih obremenitev. Območje Dunajske ceste in podatki o cesti so prikazani na Sliki 8 in v Preglednici 7.



Slika 8: Obravnavano območje (Vir: Google Maps)

Preglednica 7: Podatki o Dunajski cesti

|                         |                                        |
|-------------------------|----------------------------------------|
| <b>Kategorija ceste</b> | lokalna cesta (LC)                     |
| <b>Funkcija ceste</b>   | zbirna cesta (ZC)                      |
| <b>Dolžina ceste</b>    | 7 km                                   |
| <b>Začetek</b>          | križišče s Slovensko in Tivolsko cesto |
| <b>Konec</b>            | križišče s Štajersko in Zasavsko cesto |

Vzdolž Dunajske ceste se nahajajo naslednja semaforizirana križišča:

- križišče s Tivolsko cesto;
- križišče z Vilharjevo cesto;
- križišče z Linhartovo cesto;
- križišče s Kržičevo ulico;
- križišče s Samovo ulico;
- **križišče z Dimičevo ulico (B3);**
- **križišče z Baragovo ulico (B4);**
- **križišče s Kadilnikovo ulico (B25);**
- **križišče z obvoznico – jug (B5);**
- **križišče z obvoznico – sever (B5);**
- križišče s Stožensko ulico;
- križišče Soseska BS;
- križišče z ulico 7. septembra;
- križišče s Cesto 24. Junija;
- križišče s Cesto Ceneta Štuparja – Zahod;
- križišče s Cesto Ceneta Štuparja – Vzhod;
- križišče s Štajersko cesto.

Križišča, ki smo jih zajeli v analizo, so zgoraj napisana z odebeljeno pisavo. Gre za 1,4 km dolgo traso Dunajske ceste. Na spodnji sliki 9 je prikazana pregledna situacija obravnavanih križišč. Z oznako B5A je prikazan semaforiziran peš prehod, ki je delno zajet v analizo.



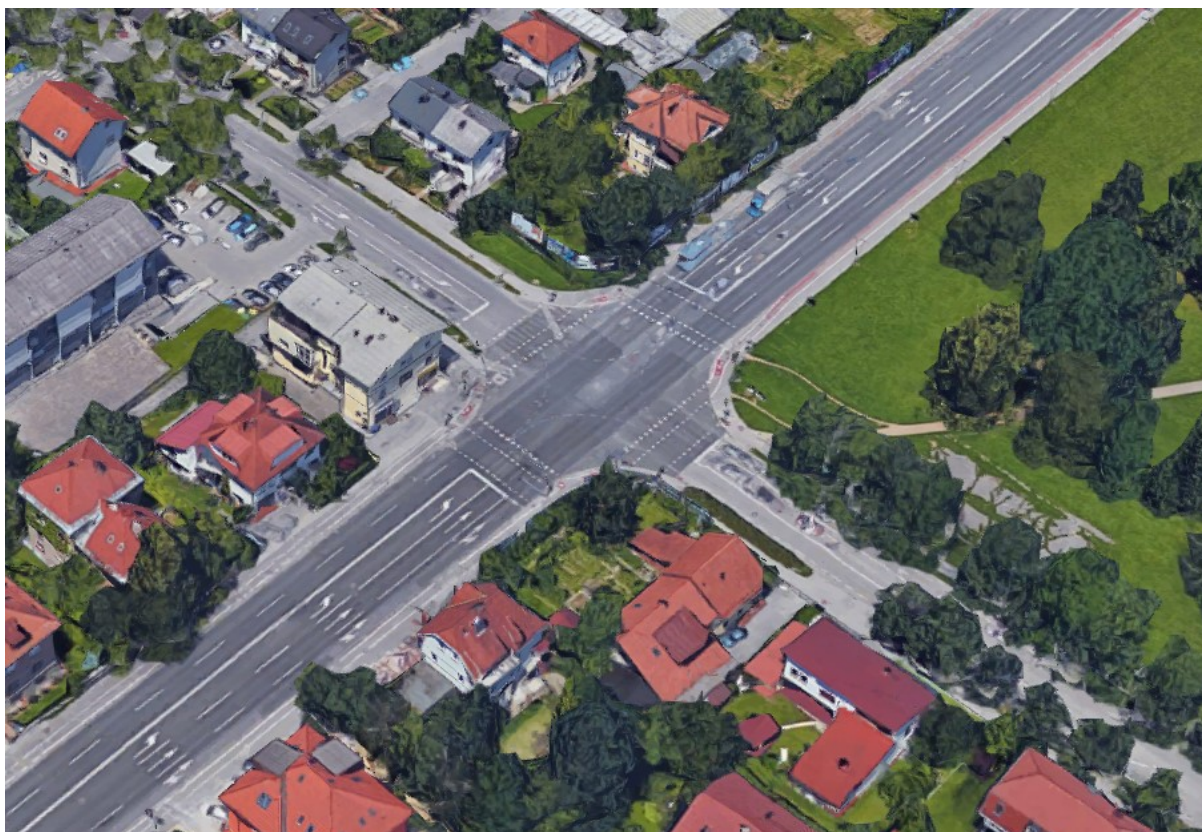
Slika 9: Pregledna situacija obravnavane trase

## 6.1 Križišče – Dimičeva ulica (B3)

Križišče z Dimičevo ulico je štirikrako semaforizirano križišče in predstavlja prvo križišče v sklopu analize. Na tem mestu se na Dunajsko cesto priključita Dimičeva ulica iz smeri vzhoda in Posavskega ulica iz smeri zahoda.

Geometrija križišča je naslednja:

- Krak A (Dunajska cesta – sever) je sestavljen iz treh vozniških pasov: pas za leve zavijalce, pas za naravnost in pas za naravnost in desne zavijalce. Omejitev hitrosti na kraku A je 60 km/h.
- Krak B (Dimičeva ulica) ima dva vozna pasova, enega za vožnjo desno in naravnost, ter enega za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 50 km/h.
- Krak C (Dunajska cesta – jug) ima, podobno kot krak A, tri vozne pasove, en omogoča vožnjo naravnost in desno, en samo vožnjo naravnost, en pas pa je samo za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 60 km/h.
- Krak D (Posavskega ulica) ima dva vozna pasova, enega za vožnjo desno in naravnost ter enega za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 50 km/h.



Slika 10: Križišče Dunajske ceste z Dimičevo ulico (Vir: Google Maps)

## 6.2 Križišče – Baragova ulica (B4)

Križišče z Baragovo ulico je štirikrako semaforizirano križišče in predstavlja drugo križišče v sklopu analize. Na tem mestu se na Dunajsko cesto priključita Baragova ulica iz smeri vzhoda in Tolstojeva ulica iz smeri zahoda.

Geometrija križišča je:

- Krak A (Dunajska cesta – sever) je sestavljen iz treh vozniških pasov: pas za leve zavijalce, pas za naravnost in pas za naravnost in desne zavijalce. Omejitev hitrosti na kraku A je 60 km/h.
- Krak B (Baragova ulica) ima dva vozna pasova, enega za vožnjo desno in naravnost ter enega za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 50 km/h.
- Krak C (Dunajska cesta – jug) ima podobno kot krak A tri vozne pasove, en omogoča vožnjo naravnost in desno, en samo vožnjo naravnost, en pas pa je samo za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 60 km/h.
- Krak D (Tolstojeva ulica) ima dva vozna pasova, enega za vožnjo desno in naravnost ter enega za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 50 km/h.



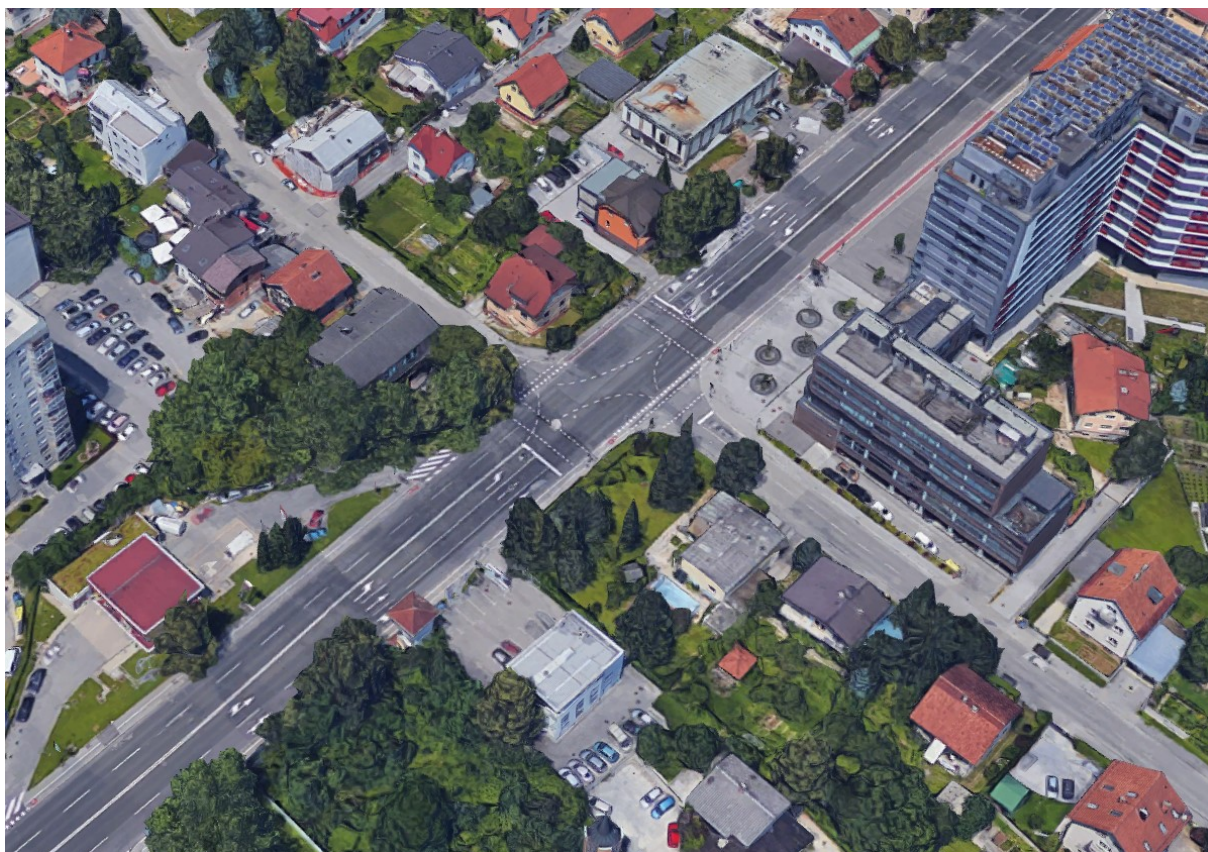
Slika 11: Križišče Dunajske ceste z Baragovo ulico (Vir: Google Maps)

### 6.3 Križišče – Kadilnikova ulica (B25)

Križišče s Kadilnikovo ulico je štirikrako semaforizirano križišče in predstavlja tretje križišče v sklopu analize. Na tem mestu se na Dunajsko cesto priključita Kadilnikova ulica iz smeri vzhoda in Tolstojeva ulica iz smeri zahoda. Ti dve ulici sta za razliko od ostalih križišč malce zamaknjeni.

Geometrija križišča je:

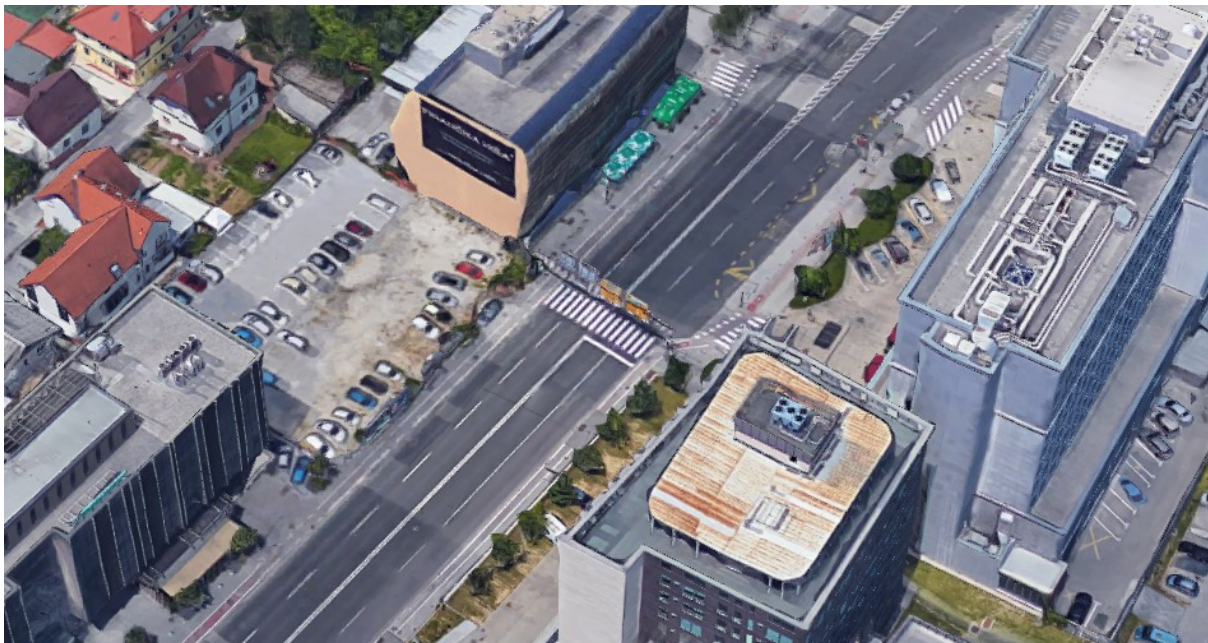
- Krak A (Dunajska cesta – sever) je sestavljen iz treh vozni pasov: pas za leve zavijalce, pas za naravnost in pas za naravnost ter desne zavijalce. Omejitev hitrosti na kraku A je 60 km/h.
- Krak B (Kadilnikova ulica) ima samo en vozni pas, ki omogoča vožnjo v vse tri smeri, Ulica se nahaja v coni 30, kar pomeni da je hitrost omejena na 30 km/h.
- Krak C (Dunajska cesta – jug) ima, podobno kot krak A, tri vozne pasove. En omogoča vožnjo naravnost in desno, en samo vožnjo naravnost, en pas pa je samo za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 60km/h.
- Krak D (Turnerjeva ulica) ima samo en vozni pas, ki omogoča vožnjo v vse tri smeri. Ulica se nahaja v coni 30, kar pomeni da je hitrost omejena na 30 km/h.



Slika 12: Križišče Dunajske ceste s Kadilnikovo ulico (Vir: Google Maps)

## 6.4 Semaforiziran peš prehod (B5A)

Med križiščema s Kadilnikovo ulico in mestno obvoznico se nahaja še semaforizirani prehod za pešce. Tudi ta prehod je bil upoštevan pri analizi in optimizaciji celotnega sistema križišč vzdolž Dunajske ceste.



Slika 13: Semaforiziran prehod za pešce (Vir: Google Maps)

## 6.5 Križišče – obvoznica jug (B5)

Južno križišče z Ljubljansko obvoznico je štirikrako semaforizirano križišče in predstavlja peto križišče v sklopu analize. Na Dunajsko se naveže priključek Bežigrad iz zahoda, krak na vzhodu pa ima funkcijo izpraznitve križišča.

Križišče ima skupni krmilni program semaforjev s križiščem obvoznica sever, saj se tretira kot eno križišče (križišče z mestno obvozno cesto). Celotno križišče (B5) ima zapleteno geometrijo, zato smo ga, zaradi lažje zasnove, v analizi razdelili na dve križišči (jug in sever).

Geometrija križišča je naslednja:

- Krak E (Dunajska cesta – sever) je sestavljen iz treh vozniških pasov: dva pasova za naravnost in en za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 60 km/h.
- Krak C (Dunajska cesta – jug) ima tri vozne pasove za naravnost in en »by-pass« za desne zavijalce. Vožnja levo na tem delu križišča ni mogoča. Omejitev hitrosti je 60 km/h.
- Krak D (priključek Bežigrad) ima dva vozna pasova za naravnost in enega za leve zavijalce. Tudi na tem kraku vožnjo desno omogoča »by-pass«. Omejitev hitrosti je 50 km/h.



Slika 14: Križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – jug (Vir: Google Maps)

## 6.6 Križišče – obvoznica sever (B5)

Severno križišče z Ljubljansko obvoznico je štirikrako semaforizirano križišče in predstavlja šesto križišče v sklopu analize. Na Dunajsko se priključi Štukljeva cesta iz smeri vzhoda, Bevkova cesta pa predstavlja krak na zahodu, ki ima funkcijo izpraznitve križišča.

Kot že omenjeno v točki 6.5, ima križišče skupni krmilni program semaforjev s križiščem obvoznica jug, saj se tretira kot eno križišče (križišče z mestno obvozno cesto).

Geometrija križišča je naslednja:

- Krak A (Dunajska cesta – sever) je sestavljen iz treh vozniških pasov za naravnost in enega »by-pass« za vožnjo desno zavijalce. Vožnja levo na tem delu križišča ni mogoča. Omejitev hitrosti je 60km/h.
- Krak B (Štukljeva cesta) ima štiri vozne pasove: dva za leve zavijalce, enega za naravnost in enega za zavijanje desno. Omejitev hitrosti je 50km/h.
- Krak F (Dunajska cesta – jug) ima dva vozna pasova za naravnost in enega za leve zavijalce. Omejitev hitrosti je 60km/h.



Slika 15: Križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – sever (Vir: Google Maps)

## 7 PROMETNE OBREMENTITVE

Brez podatkov o prometnih obremenitvah praktično ne moremo opraviti nobene analize o trenutnem stanju na nekem obravnavanem območju. Za pridobitev teh podatkov je bilo izvedeno štetje prometa, pri katerem se je beležilo vse vrste kategorije prometnih udeležencev.

Podatki o prometnih obremenitvah so bili pridobljeni s strani podjetja PNZ svetovanje in projektiranje d.o.o. Za potrebe analize je bila uporabljena jutranja konica (JK). Štetje je bilo na vseh križiščih izvedeno 18. 11. 2021, od 7:15 – 8:15.

Iz rezultatov štetja je bil že tabelarično prikazan faktor urne konice, ki smo ga tudi potrebovali za analizo obstoječega stanja v križišču. V naslednjih preglednicah o štetju so pod stolpcem »PEŠCI« zajeti tudi kolesarji.

### 7.1 Prometne obremenitve na križišču z Dimičevo ulico

Podatki o prometnih obremenitvah v času jutranje konice so za križišče Dunajske ceste z Dimičevo ulico predstavljene v Preglednici 8.

Preglednica 8: Podatki o štetju – Dimičeva ulica

| KRAK                           | ČAS   | LEVO       | NARAVNOST   | DESNO     | SKUPNO v 15 min | PEŠCI      |
|--------------------------------|-------|------------|-------------|-----------|-----------------|------------|
| <b>A</b><br>(Dunajska cesta S) | 07:15 | 42         | 260         | 17        | 319             | 15         |
|                                | 07:30 | 49         | 282         | 18        | 349             | 18         |
|                                | 07:45 | 58         | 275         | 20        | 353             | 26         |
|                                | 08:00 | 44         | 257         | 21        | 322             | 5          |
| Skupaj                         |       | <b>193</b> | <b>1074</b> | <b>76</b> | <b>1343</b>     | <b>64</b>  |
| <b>B</b><br>(Dimičeva ulica)   | 07:15 | 10         | 36          | 25        | 71              | 26         |
|                                | 07:30 | 29         | 39          | 13        | 81              | 39         |
|                                | 07:45 | 31         | 61          | 23        | 115             | 81         |
|                                | 08:00 | 19         | 53          | 16        | 88              | 15         |
| Skupaj                         |       | <b>89</b>  | <b>189</b>  | <b>77</b> | <b>355</b>      | <b>161</b> |
| <b>C</b><br>(Dunajska cesta J) | 07:15 | 19         | 147         | 20        | 186             | 8          |
|                                | 07:30 | 24         | 149         | 23        | 196             | 10         |
|                                | 07:45 | 27         | 187         | 26        | 240             | 23         |
|                                | 08:00 | 28         | 170         | 22        | 220             | 9          |
| Skupaj                         |       | <b>97</b>  | <b>653</b>  | <b>92</b> | <b>842</b>      | <b>50</b>  |
| <b>D</b><br>(Posavskega ulica) | 07:15 | 12         | 32          | 31        | 75              | 49         |
|                                | 07:30 | 16         | 44          | 15        | 75              | 56         |
|                                | 07:45 | 21         | 53          | 17        | 91              | 62         |
|                                | 08:00 | 17         | 34          | 24        | 75              | 45         |
| Skupaj                         |       | <b>66</b>  | <b>163</b>  | <b>87</b> | <b>316</b>      | <b>212</b> |

## 7.2 Prometne obremenitve na križišču z Baragovo ulico

Podatki o prometnih obremenitvah v času jutranje konice za križišče Dunajske ceste z Baragovo ulico, so predstavljene v Preglednici 9.

Preglednica 9: Podatki o štetju – Baragova ulica

| KRAK                           | ČAS   | LEVO       | NARAVNOST   | DESNO      | SKUPNO v 15 min | PEŠCI      |
|--------------------------------|-------|------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| <b>A</b><br>(Dunajska cesta S) | 07:15 | 41         | 310         | 33         | 384             | 33         |
|                                | 07:30 | 54         | 330         | 42         | 426             | 36         |
|                                | 07:45 | 55         | 359         | 56         | 470             | 35         |
|                                | 08:00 | 21         | 281         | 40         | 372             | 21         |
| Skupaj                         |       | <b>198</b> | <b>1280</b> | <b>171</b> | <b>1652</b>     | <b>125</b> |
| <b>B</b><br>(Baragova ulica)   | 07:15 | 27         | 33          | 26         | 86              | 22         |
|                                | 07:30 | 26         | 38          | 26         | 90              | 20         |
|                                | 07:45 | 37         | 51          | 32         | 120             | 23         |
|                                | 08:00 | 35         | 29          | 17         | 81              | 17         |
| Skupaj                         |       | <b>125</b> | <b>151</b>  | <b>101</b> | <b>377</b>      | <b>82</b>  |
| <b>C</b><br>(Dunajska cesta J) | 07:15 | 12         | 127         | 9          | 145             | 8          |
|                                | 07:30 | 11         | 126         | 15         | 152             | 10         |
|                                | 07:45 | 8          | 182         | 15         | 206             | 23         |
|                                | 08:00 | 12         | 158         | 13         | 183             | 9          |
| Skupaj                         |       | <b>43</b>  | <b>593</b>  | <b>51</b>  | <b>686</b>      | <b>82</b>  |
| <b>D</b><br>(Tolstojeva ulica) | 07:15 | 16         | 32          | 14         | 62              | 54         |
|                                | 07:30 | 28         | 33          | 8          | 69              | 70         |
|                                | 07:45 | 22         | 34          | 6          | 62              | 45         |
|                                | 08:00 | 21         | 32          | 19         | 72              | 46         |
| Skupaj                         |       | <b>87</b>  | <b>131</b>  | <b>47</b>  | <b>265</b>      | <b>215</b> |

## 7.3 Prometne obremenitve na križišču s Kadilnikovo ulico

Podatki o prometnih obremenitvah v času jutranje konice za križišče Dunajske ceste s Kadilnikovo ulico, so predstavljene v Preglednici 10.

Preglednica 10: Podatki o štetju – Kadilnikova ulica

| KRAK                           | ČAS   | LEVO       | NARAVNOST   | DESNO     | SKUPNO v 15 min | PEŠCI     |
|--------------------------------|-------|------------|-------------|-----------|-----------------|-----------|
| <b>A</b><br>(Dunajska cesta S) | 07:15 | 44         | 379         | 4         | 427             | 3         |
|                                | 07:30 | 48         | 431         | 7         | 486             | 1         |
|                                | 07:45 | 38         | 431         | 7         | 476             | 7         |
|                                | 08:00 | 43         | 367         | 10        | 420             | 10        |
| Skupaj                         |       | <b>173</b> | <b>1608</b> | <b>28</b> | <b>1809</b>     | <b>21</b> |

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 10:

| KRAK                            | ČAS   | LEVO      | NARAVNOST  | DESNO     | SKUPNO v 15 min | PEŠCI      |
|---------------------------------|-------|-----------|------------|-----------|-----------------|------------|
| <b>B</b><br>(Kadilnikova ulica) | 07:15 | 6         | 0          | 9         | 15              | 9          |
|                                 | 07:30 | 7         | 1          | 7         | 15              | 10         |
|                                 | 07:45 | 8         | 1          | 6         | 15              | 14         |
|                                 | 08:00 | 11        | 4          | 7         | 22              | 10         |
| Skupaj                          |       | <b>32</b> | <b>6</b>   | <b>29</b> | <b>67</b>       | <b>43</b>  |
| <b>C</b><br>(Dunajska cesta J)  | 07:15 | 6         | 170        | 8         | 184             | 7          |
|                                 | 07:30 | 3         | 192        | 5         | 200             | 4          |
|                                 | 07:45 | 16        | 196        | 8         | 220             | 2          |
|                                 | 08:00 | 9         | 181        | 12        | 202             | 3          |
| Skupaj                          |       | <b>34</b> | <b>739</b> | <b>33</b> | <b>806</b>      | <b>16</b>  |
| <b>D</b><br>(Turnerjeva ulica)  | 07:15 | 4         | 0          | 2         | 6               | 16         |
|                                 | 07:30 | 10        | 0          | 8         | 18              | 26         |
|                                 | 07:45 | 11        | 3          | 6         | 20              | 28         |
|                                 | 08:00 | 12        | 0          | 6         | 18              | 32         |
| Skupaj                          |       | <b>37</b> | <b>3</b>   | <b>22</b> | <b>62</b>       | <b>102</b> |

#### 7.4 Prometne obremenitve na križišču z obvoznico – jug

Podatki o prometnih obremenitvah v času jutranje konice za križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – jug, so predstavljene v Preglednici 11.

Na mestih, kjer je zabeleženo »/«, bodisi ni mogoča vožnja motornih vozil v tisto smer, bodisi na tistem kraku ni prehoda za pešce.

Preglednica 11: Podatki o štetju – mestna obvoznica (jug)

| KRAK                           | ČAS   | LEVO       | NARAVNOST   | DESNO    | SKUPNO v 15 min | PEŠCI     |
|--------------------------------|-------|------------|-------------|----------|-----------------|-----------|
| <b>A</b><br>(Dunajska cesta S) | 07:15 | 47         | 303         | /        | 350             | /         |
|                                | 07:30 | 59         | 320         | /        | 379             | /         |
|                                | 07:45 | 76         | 349         | /        | 425             | /         |
|                                | 08:00 | 56         | 276         | /        | 332             | /         |
| Skupaj                         |       | <b>238</b> | <b>1248</b> | <b>/</b> | <b>1486</b>     | <b>/</b>  |
| <b>B</b><br>(izvozna cesta)    | 07:15 | /          | /           | /        | /               | 16        |
|                                | 07:30 | /          | /           | /        | /               | 16        |
|                                | 07:45 | /          | /           | /        | /               | 23        |
|                                | 08:00 | /          | /           | /        | /               | 29        |
| Skupaj                         |       | <b>/</b>   | <b>/</b>    | <b>/</b> | <b>/</b>        | <b>84</b> |

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 11:

| KRAK                           | ČAS   | LEVO | NARAVNOST | DESNO | SKUPNO v 15 min | PEŠCI |
|--------------------------------|-------|------|-----------|-------|-----------------|-------|
| <b>C</b><br>(Dunajska cesta J) | 07:15 | /    | 115       | 73    | 188             | 14    |
|                                | 07:30 | /    | 123       | 101   | 224             | 17    |
|                                | 07:45 | /    | 138       | 88    | 226             | 17    |
|                                | 08:00 | /    | 134       | 85    | 219             | 20    |
| Skupaj                         |       | /    | 510       | 347   | 857             | 68    |
| <b>D</b><br>(Priklj. Bežigrad) | 07:15 | 46   | 62        | 147   | 255             | 27    |
|                                | 07:30 | 56   | 85        | 175   | 316             | 25    |
|                                | 07:45 | 44   | 72        | 180   | 296             | 30    |
|                                | 08:00 | 68   | 81        | 132   | 281             | 14    |
| Skupaj                         |       | 214  | 300       | 634   | 1148            | 96    |

## 7.5 Prometne obremenitve na križišču z obvoznico – sever

Podatki o prometnih obremenitvah v času jutranje konice za križišče Dunajske ceste z mestno obvoznico – sever, so predstavljene v Preglednici 12. Na mestih, kjer je zabeleženo »/«, bodisi ni mogoča vožnja motornih vozil v tisto smer, bodisi na tistem kraku ni prehoda za pešce.

Preglednica 12: Podatki o štetju – mestna obvoznica (sever)

| KRAK                           | ČAS   | LEVO | NARAVNOST | DESNO | SKUPNO v 15 min | PEŠCI |
|--------------------------------|-------|------|-----------|-------|-----------------|-------|
| <b>A</b><br>(Dunajska cesta S) | 07:15 | /    | 179       | 42    | 221             | 6     |
|                                | 07:30 | /    | 195       | 42    | 237             | 8     |
|                                | 07:45 | /    | 226       | 64    | 290             | 7     |
|                                | 08:00 | /    | 193       | 40    | 233             | 8     |
| Skupaj                         |       | /    | 793       | 188   | 981             | 29    |
| <b>B</b><br>(Štukljeva cesta)  | 07:15 | 179  | 85        | 33    | 297             | 14    |
|                                | 07:30 | 195  | 98        | 35    | 328             | 12    |
|                                | 07:45 | 205  | 109       | 33    | 347             | 19    |
|                                | 08:00 | 154  | 82        | 45    | 281             | 24    |
| Skupaj                         |       | 733  | 374       | 146   | 1253            | 69    |
| <b>C</b><br>(Dunajska cesta J) | 07:15 | 65   | 93        | /     | 158             | /     |
|                                | 07:30 | 70   | 113       | /     | 183             | /     |
|                                | 07:45 | 78   | 104       | /     | 182             | /     |
|                                | 08:00 | 87   | 119       | /     | 206             | /     |
| Skupaj                         |       | 300  | 429       | /     | 729             | /     |
| <b>D</b><br>(Bevkova cesta)    | 07:15 | /    | /         | /     | /               | 31    |
|                                | 07:30 | /    | /         | /     | /               | 25    |
|                                | 07:45 | /    | /         | /     | /               | 34    |
|                                | 08:00 | /    | /         | /     | /               | 16    |
| Skupaj                         |       | /    | /         | /     | /               | 106   |

## 8 IZDELAVA PROMETNIH MODELOV

V programskih orodjih smo najprej pričeli z izdelavo prometnih modelov. Potrebno je bilo pridobiti podatke o:

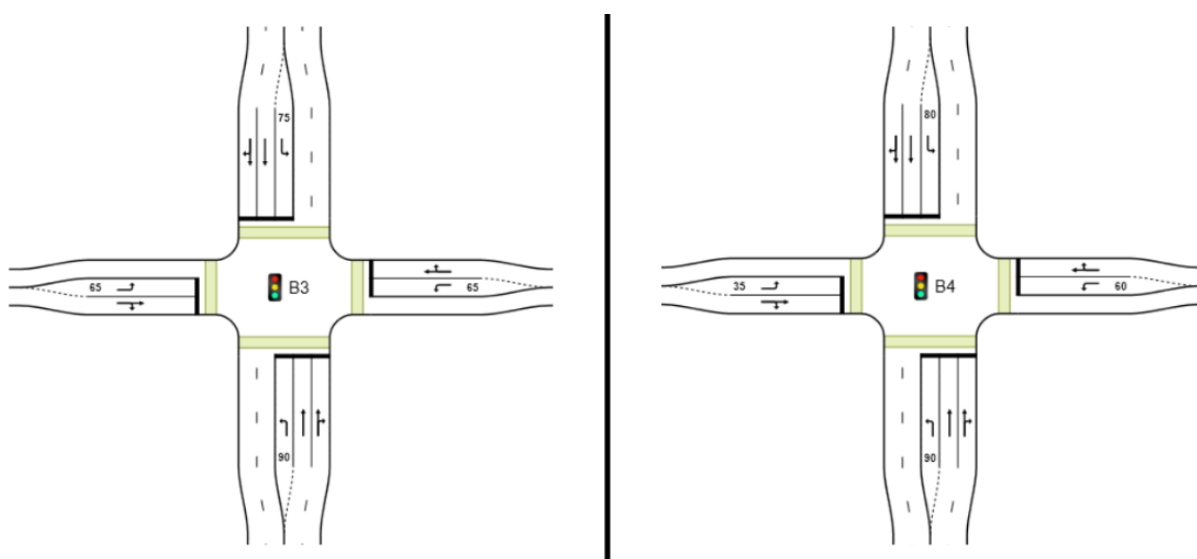
- geometriji križišč,
- geometriji posameznih voznih pasov,
- krmilnih programih semaforjev in
- prometnih obremenitvah.

Vse te podatke smo vnesli v obe programske orodji. Že v tej fazi sta si oba uporabljena programa zelo različna in tu se tudi prične analiza primerjave uporabe obeh programov. Nadaljevali bomo z analizo mer uspešnosti križišč in celotne mreže, na koncu pa bomo programa primerjali tudi preko optimizacije križišč in koordinacije le – teh.

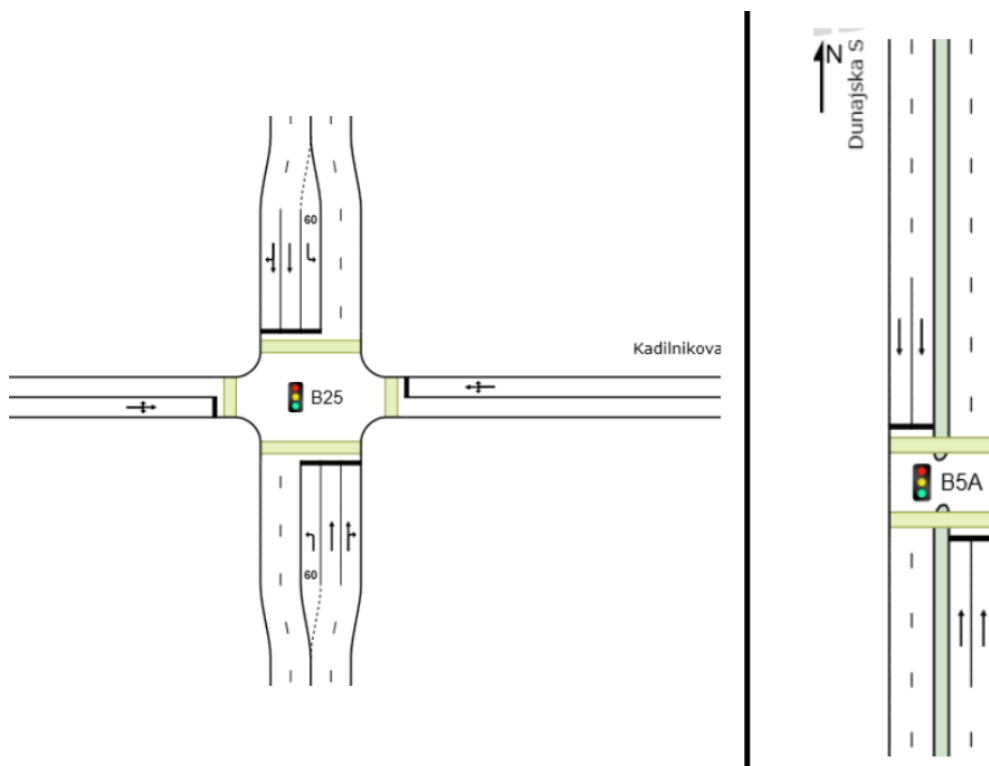
### 8.1 Prometni model – primerjava programov od zasnove do vnosa podatkov

V osnovni gre pri obeh programih za analitično programsko orodje, vendar se programa že pri zasnovi prometne mreže zelo razlikujeta.

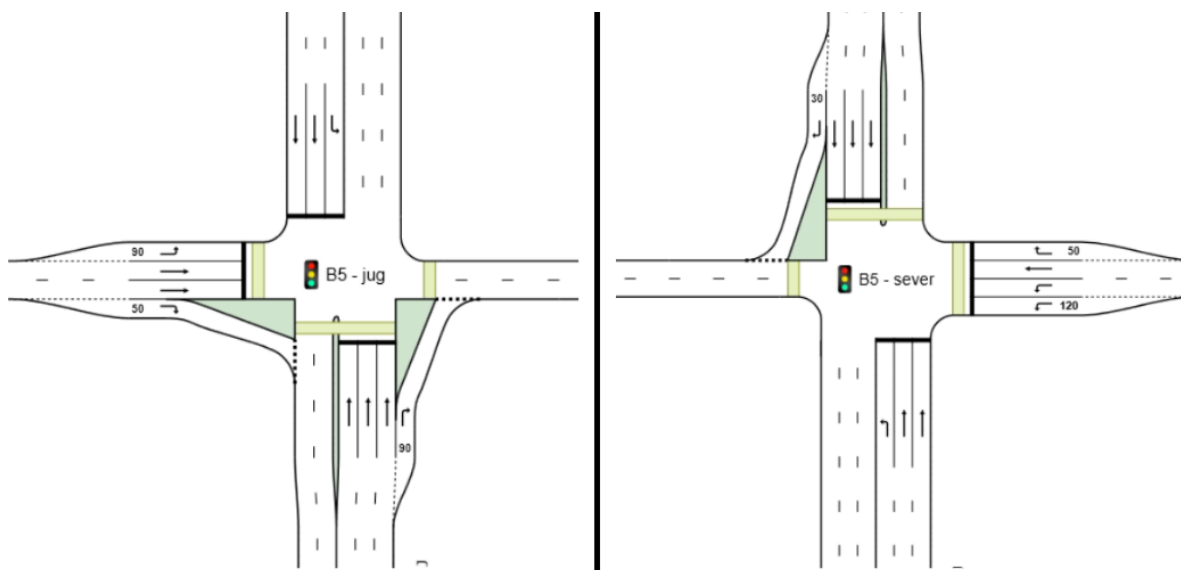
V programu Sidra smo lahko zasnovali le posamezna križišča, ki se jih lahko potem združi v mrežo križišč vzdolž Dunajske ceste. Vsako križišče je v programu samostojno in se odpre v novem oknu, v katerem nimamo pregleda nad lokacijo teh križišč na terenu. Prometni modeli križišč v programskem orodju Sidra so prikazani na naslednjih slikah.



Slika 16: Prometna modela križišča z Dimičevo (B3) in Baragovo ulico (B4)



Slika 17: Prometna modela za križišče s Kadilnikovo (B25) in za semaforiziran peš prehod (B5A)

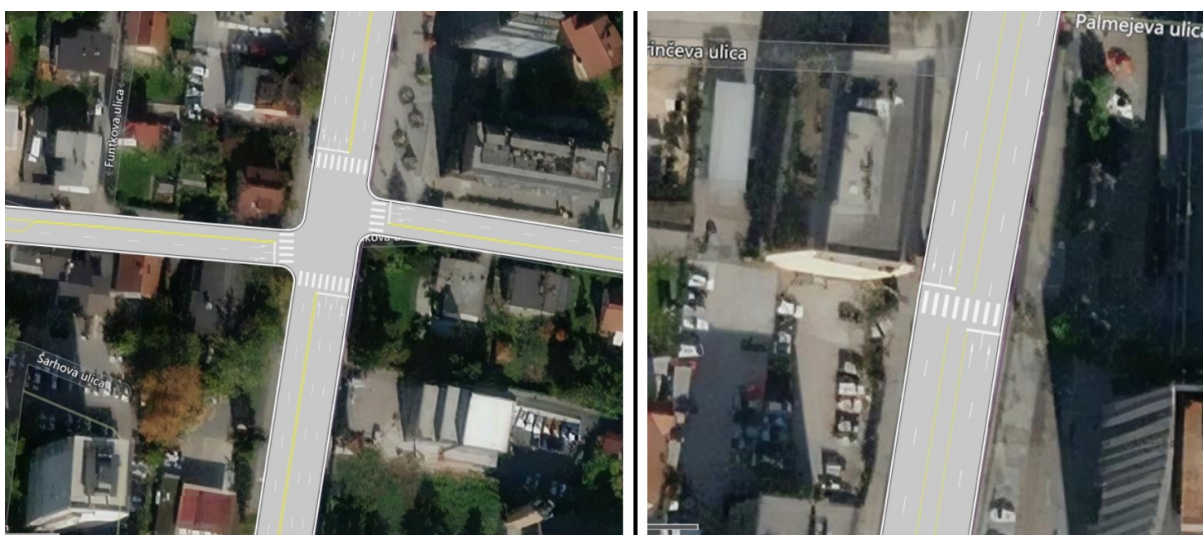


Slika 18: Prometna modela za križišči z obvoznico (B5)

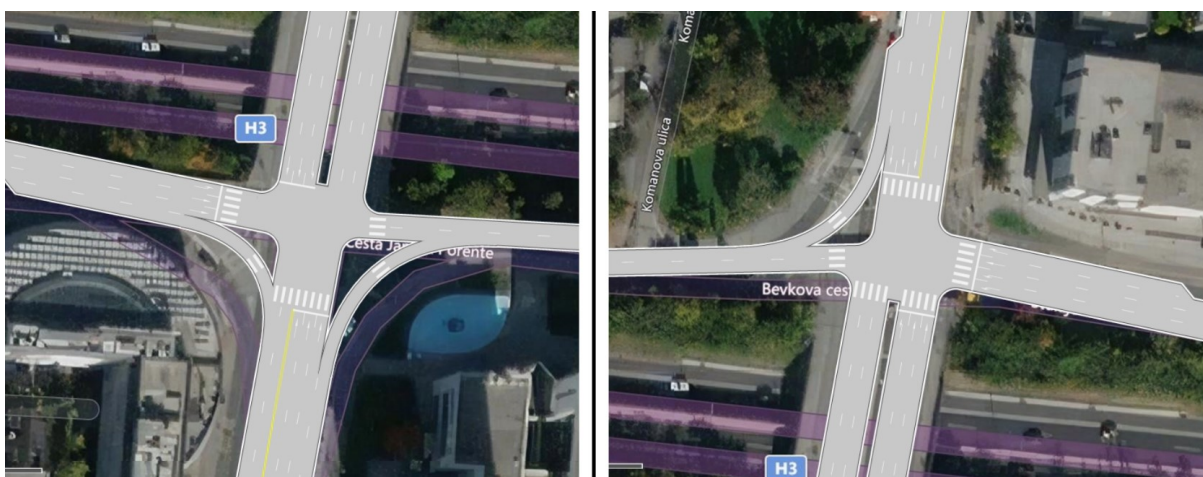
Pri programu Vistro se lahko kreira celotno prometno mrežo, v kateri so zajeta vsa križišča, ki so med seboj povezana. To naredimo s pomočjo link-node metode (elementa in vozlišča). Te lahko prilagajamo in spreminjamo tako, da dobimo dejanski potek trase med križišči. Prometni modeli križišč v programskem orodju PTV Vistro so prikazani na Sliki 19, Sliki 20 in na Sliki 21.



Slika 19: Prometni model križišča z Dimičevo (levo) in z Baragovo ulico (desno).



Slika 20: Prometni model za križišče s Kadišnikovo ulico (levo) in za semaforiziran peš prehod (desno)



Slika 21: Prometna modela za križišči z obvoznico jug (levo) in sever (desno)

Ko smo imeli v obeh programskih orodjih narejeno zasnovo, smo nadaljevali z vnosom podatkov o:

- geometriji križišč (tip križišča, števila vozniških pasov, širina vozniških pasov,...),
- omejitvi hitrosti na posameznih krakih,
- prometnih obremenitvah in
- krmilnih programih semaforizacije.

V obeh programih je bil vnos teh podatkov precej podoben in enostaven, saj se podatki vnašajo v preglednice za posamezna križišča. Edina razlika glede vnosa podatkov je bila pri vnašanju podatkov o krmilnih programih. V programu Sidra moramo posebej določiti faze, nato pa v tabelo vnesti posamezne čase. V programu Vistro pa se vnos podatkov vnese grafično. S klikom in potegom določimo ustrezen efektivni zeleni čas v posameznih fazah. Primerjava je prikazana na Sliki 22 in na Sliki 23.

The image shows two screenshots from the Sidra software. The left screenshot is the 'Phase Editor' window, showing a diagram of a four-way intersection with four phases (A, B, C, D) and their corresponding movement classes (All Movement Classes, Light Vehicles (LV), Heavy Vehicles (HV)). The right screenshot is the 'PHASING & TIMING' window, showing the 'Phase & Sequence Data' tab. It displays a table for 'Phase Data' with columns for Phase, Variable Phase, Reference Phase, Phase Time, Phase Frequency, Yellow Time, All-Red Time, Dummy Movement Data, Minimum Green Time, and Maximum Green Time. The 'Selected Sequence (For Editing)' is 'Leading Left Turn'.

Slika 22: Vnos podatkov o signalnih napravah v programu Sidra

| Priority Scheme           | Major | Major                           | Minor | Minor |
|---------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| Analyze Intersection?     |       |                                 |       |       |
| Analysis Period           |       | 15 minutes                      |       |       |
| Located in CBD            |       |                                 |       |       |
| Controller ID             |       | 4                               |       |       |
| Signal Coordination Group |       | -                               |       |       |
| Cycle Length [s]          |       | 100                             |       |       |
| Coordination Type         |       | Time of Day Pattern Coordinated |       |       |
| Actuation Type            |       | Fixed time                      |       |       |
| Offset [s]                |       | 40.0                            |       |       |
| Sequence                  |       |                                 |       |       |
| Ring 1                    | 1     | 9                               | 2     | -     |
| Ring 2                    | 3     | -                               | 4     | -     |
| Ring 3                    | -     | -                               | -     | -     |
| Ring 4                    | -     | -                               | -     | -     |
| SG: 1                     | 62s   |                                 |       |       |
| SG: 101                   | 48s   |                                 |       |       |
| SG: 3                     | 62s   |                                 |       |       |
| SG: 103                   | 48s   |                                 |       |       |
| SG: 2                     | 28s   |                                 |       |       |
| SG: 102                   | 17s   |                                 |       |       |
| SG: 4                     | 28s   |                                 |       |       |
| SG: 104                   | 17s   |                                 |       |       |

Slika 23: Vnos podatkov o signalnih napravah v PTV Vistro

## 9 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA

Po dokončanih prometnih modelih smo lahko nadaljevali z analizo kapacitivnosti obstoječega stanja v obeh izbranih programskih orodjih, tako smo dobili podatke o učinkovitosti obravnavanih križišč in ti podatki so:

- nivoji uslug in povprečne zamude posameznih krakov,
- nivoji uslug in povprečne zamude po posameznih vozniških pasovih.

Semaforiziranega peš prehoda (B5A) v tej analizi nismo upoštevali, bil pa je vključen v analizo pri optimizaciji celotne mreže križišč.

V sklopu naloge smo izvedli tudi primerjalno analizo med rezultati obeh programskih orodji, v kateri smo primerjali in ugotavljali podobnosti danih rezultatov.

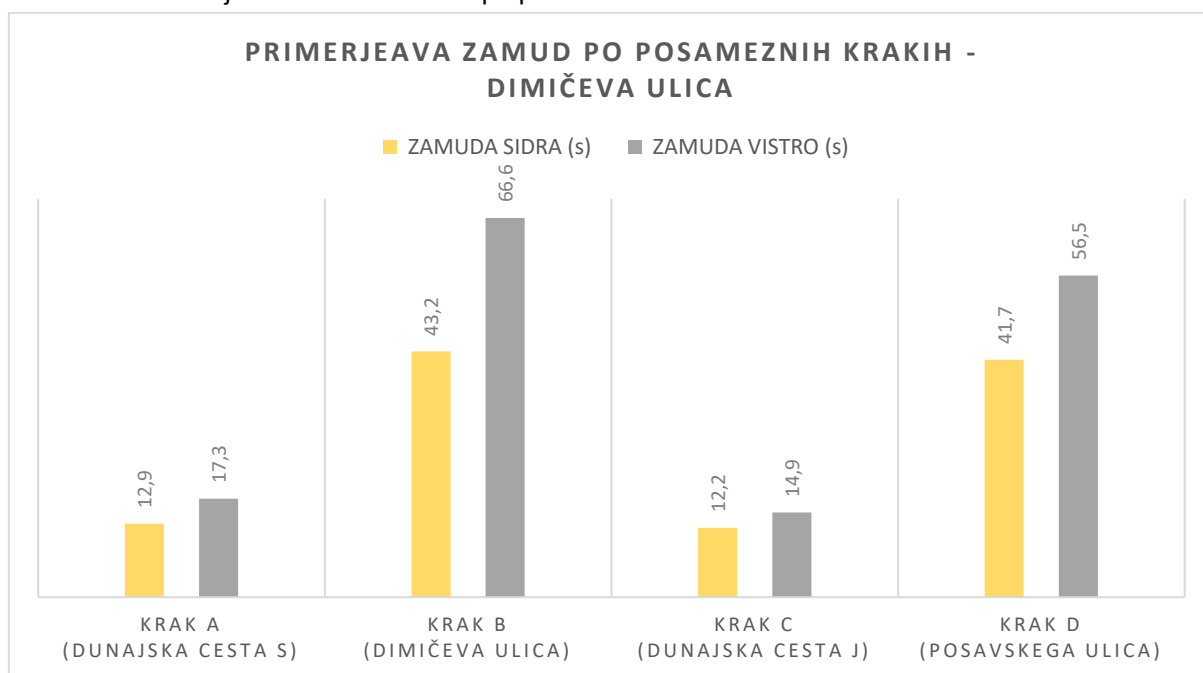
Oba programa določujeta povprečne zamude in njim pripadajoče nivoje uslug na enak način. Enačbe za določanje povprečnih zamud, so podrobneje opisane v poglavju 4.4, nivoji uslug pa so predstavljeni v poglavju 4.2.

Kot že omenjeno, je določevanje zamud in nivojev uslug osnova metode HCM (v obeh programih smo izbrali HCM 6). Prikaz mer učinkovitosti in primerjavo med obema programoma so v naslednjih poglavjih predstavljeni z grafikoni in preglednicami.

### 9.1 Rezultati analize učinkovitosti na križišču z Dimičevo ulico (B3)

V prvem sklopu analize smo primerjavo časovnih zamud v križišču z Dimičevo ulico najprej izvedli po posameznih krakih. Rezultati so prikazani s pomočjo Grafikona 1.

Grafikon 1: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Dimičeva ulica



Kot je razvidno z grafikona, se povprečne zamude po posameznih pasovih bistveno ne razlikujejo v glavni prometni smeri, to je na Dunajski cesti (krak A in krak C). Rezultati so v obeh primerih malce boljši v programu Sidra Intersection, v katerem zamude znašajo 12,9 s na kraku A in 12,2 s na kraku C, medtem ko v programu Vistro te dve zamudi znašata 17,3 s (krak A) in 14,9 s (krak C). Na stranskih krakih B in D, pa se te zamude malo bolj razlikujejo. Na Dimičevi ulici se zamude med programoma razlikujejo za 23,4 sekund, na Posavskega ulici pa za 14,8 sekund. V drugem sklopu analize po posameznih voznih pasovih bomo videli razčlenitev časovnih zamud po posameznih voznih pasovih.

V drugem sklopu analize obstoječega stanja je bila izvedena analiza po posameznih voznih pasovih, rezultati analize so prikazani v Preglednici 13.

Preglednica 13: Rezultati analize – Dimičeva ulica (B3)

|                                      | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | C                     | 23,9                            | C                     | 25,3                            | 1,4                |
| Naravnost                            | B                     | 10,7                            | B                     | 15,9                            | 5,2                |
| Desno                                | B                     | 16,3                            | B                     | 16,3                            | 0,0                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>B</b>              | <b>12,9</b>                     | <b>B</b>              | <b>17,3</b>                     | <b>4,4</b>         |
| <b>KRAK B<br/>(Dimičeva ulica)</b>   | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 52,1                            | F                     | 98,6                            | 46,5               |
| Naravnost                            | D                     | 39,8                            | E                     | 55,9                            | 16,1               |
| Desno                                | D                     | 41,5                            | E                     | 55,9                            | 14,4               |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>43,2</b>                     | <b>E</b>              | <b>66,6</b>                     | <b>23,4</b>        |
| <b>KRAK C<br/>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | C                     | 28,2                            | C                     | 29,1                            | 0,9                |
| Naravnost                            | A                     | 9,4                             | B                     | 13,0                            | 3,6                |
| Desno                                | B                     | 15,0                            | B                     | 13,3                            | 1,7                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>B</b>              | <b>12,2</b>                     | <b>B</b>              | <b>14,9</b>                     | <b>2,7</b>         |
| <b>KRAK D<br/>(Posavskega ulica)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 53,7                            | F                     | 91,3                            | 37,6               |
| Naravnost                            | D                     | 38,0                            | D                     | 47,4                            | 9,4                |
| Desno                                | D                     | 39,7                            | D                     | 47,4                            | 7,7                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>41,7</b>                     | <b>E</b>              | <b>56,5</b>                     | <b>14,8</b>        |

Pričakovano, so tudi v tem sklopu analize razlike najmanjše po posameznih pasovih krakov A in C, kjer se na kraku A zamude razlikujejo za največ 5,2 sekund, na kraku C pa za največ 3,6 sekund. Tudi zaradi teh manjših razlike se doseženi nivoji uslug skorajda ujemajo v celoti, razlika se pojavi le na kraku C pri vožnji naravnost (v Sidri nivo A, v Vistru nivo B). Na nivoju posameznih krakov pa je v obeh programih dosežen nivo uslug B.

Malce večje razlike se pojavijo tako na kraku B, kot tudi na kraku D. Na Dimičevi ulici znaša razlika za desno in naravnost okoli 15 sekund, medtem ko je razlika za leve zavijalce v programu Vistro večja za 46,5 sekund.

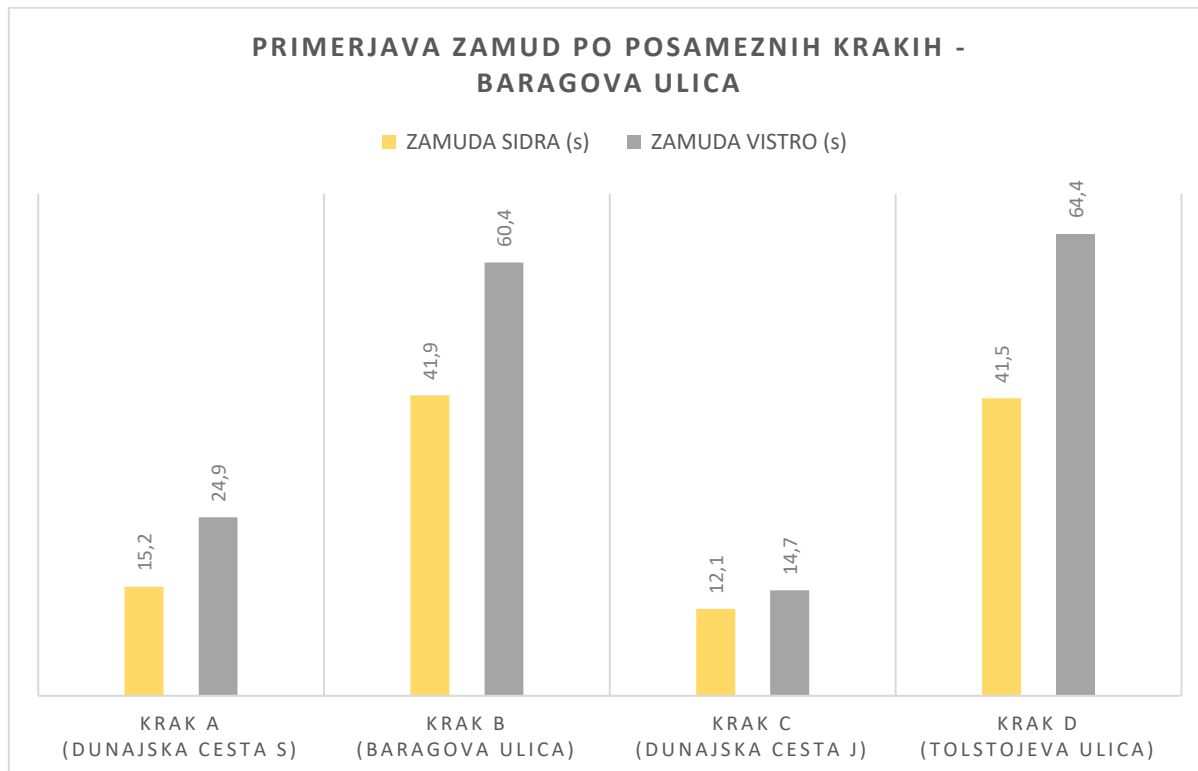
Podobno je tudi na kraku D, kjer se časovne zamude za leve zavijalce tudi razlikujejo za 37,6 sekund, na preostalih dveh pasovih pa je razlika med programskima orodjema le okoli 9 sekund. Na obeh krakih je torej malo večja časovna razlika levih zavijalcev, ki sta tudi poslabšala časovno razliko na nivoju celotnih krakov.

Večje časovne razlike med programoma seveda pomenijo tudi različne dosežene nivoje uslug. Razlikovanje med njimi je prikazano zgoraj v preglednici, za celoten krak B je v Sidri dosežen nivo D, v Vistru nivo E in enako je na kraku D. Za dva razreda se nivoja uslug razlikujeta na obeh voznih pasovih za leve zavijalce.

## 9.2 Rezultati analize učinkovitosti na križišču z Baragovo ulico (B4)

Tudi pri križišču z Baragovo ulico smo v prvem sklopu analize primerjavo časovnih zamud, najprej izvedli po posameznih krakih. Rezultati so prikazani s pomočjo Grafikona 2.

Grafikon 2: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Baragova ulica



Grafikon 2 prikazuje, kako se povprečne zamude po posameznih pasovih razlikujejo od enega do drugega programskega orodja. Zelo majhno razlikovanje je na kraku C, kjer zanaša le nekaj sekund, malo večjo razliko (9,7 s) pa se pokaže na kraku A.

Malce večje razlikovanje je tudi pri tem križišču stranski cesti, Baragova in Tolstojeva ulica. Pri prvi je dobljena razlika 16,5 sekund, pri drugi pa 22,9 sekund. Tudi v tem primeru so povsod zamude daljše v programskem orodju Vistro.

V drugem sklopu analize obstoječega stanja je bila izvedena analiza po posameznih vozniških pasovih, rezultati so prikazani v Preglednici 14.

Preglednica 14: Rezultati analize – Baragova ulica (B4)

|                                      | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | C                     | 23,2                            | C                     | 23,5                            | 0,3                |
| Naravnost                            | B                     | 13,4                            | C                     | 24,6                            | 11,2               |
| Desno                                | B                     | 19,9                            | C                     | 28,3                            | 8,4                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>B</b>              | <b>15,2</b>                     | <b>C</b>              | <b>24,9</b>                     | <b>9,7</b>         |
| <b>KRAK B<br/>(Baragova ulica)</b>   | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 48,3                            | E                     | 71,6                            | 23,3               |
| Naravnost                            | D                     | 37,5                            | D                     | 54,8                            | 17,3               |
| Desno                                | D                     | 40,7                            | D                     | 54,8                            | 14,1               |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>41,9</b>                     | <b>E</b>              | <b>60,4</b>                     | <b>18,5</b>        |
| <b>KRAK C<br/>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 44,9                            | D                     | 44,8                            | 0,1                |
| Naravnost                            | A                     | 9,1                             | B                     | 12,3                            | 3,2                |
| Desno                                | B                     | 14,7                            | B                     | 12,4                            | 2,3                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>B</b>              | <b>12,1</b>                     | <b>B</b>              | <b>14,7</b>                     | <b>2,6</b>         |
| <b>KRAK D<br/>(Tolstojeva ulica)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 54,0                            | F                     | 119,8                           | 65,8               |
| Naravnost                            | C                     | 34,5                            | D                     | 37,1                            | 2,6                |
| Desno                                | D                     | 37,8                            | D                     | 37,1                            | 0,7                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>41,5</b>                     | <b>E</b>              | <b>64,4</b>                     | <b>22,9</b>        |

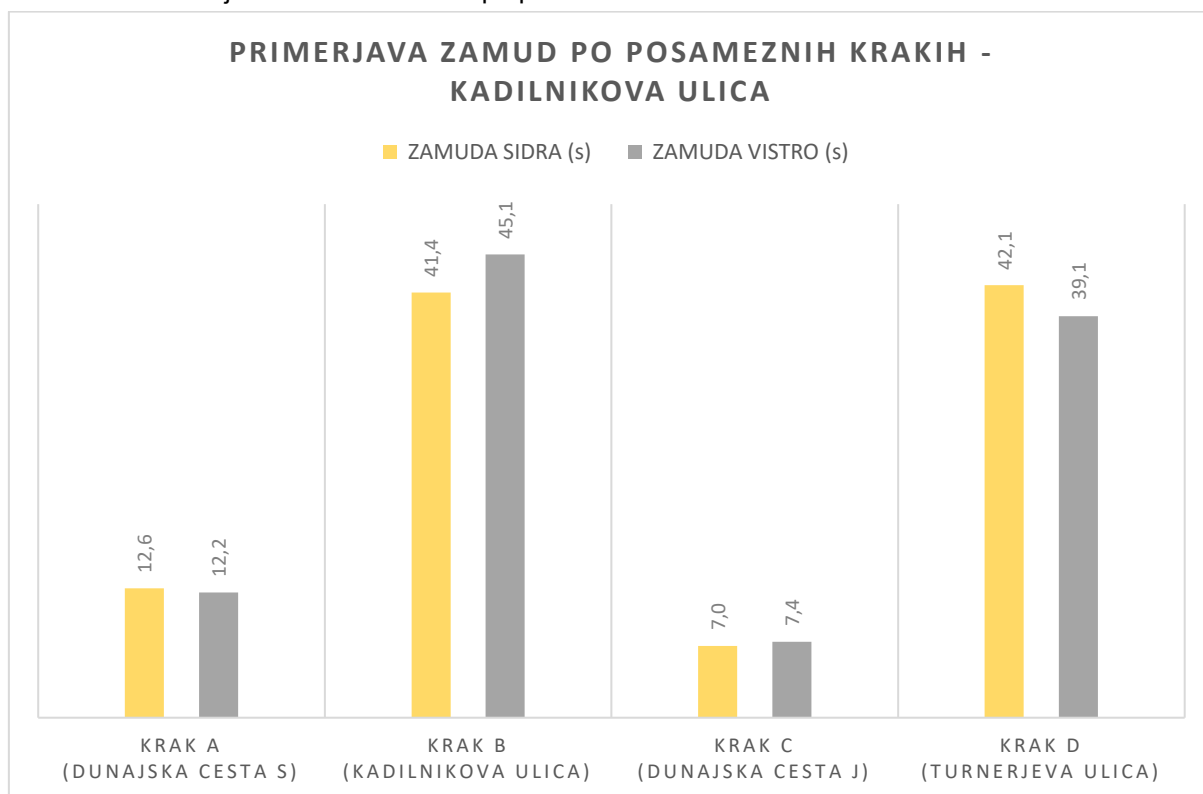
Kar se tiče glavne prometne smeri, je na kraku A zelo majhna razlika pri levih zavijalcih, za vožnjo naravnost in desno pa se časovne zamude razlikujejo za 11,2 sekund oziroma 8,4 sekund. Doseženi nivoji uslug se bistveno ne razlikujejo, le na celotnem kraku je nivo uslug v Sidri enak B, v Vistru pa nivo uslug C. Kot je vidno z Grafikona 2, so najmanjše razlike na kraku C, pri katerem znaša največja razlika 3,2 sekund pri vožnji naravnost. Vrednosti nivoja uslug se razlikujejo le za vožnjo naravnost (mejna vrednost).

Večje razlike se spet pojavijo v stranskih cestah, ki se priključita na Dunajsko cesto. Na kraku B so za vse skupine voznih pasov približno enake časovne razlike med zamudami (od 14 do 23 sekund). Izračunani nivoji uslug so v programu Sidra enaki nivoju D, v programu Vistro pa nivoju E. Na kraku D smo dobili zelo majhne razlike pri vožnji naravnost in desno (manj kot 3 sekunde), na voznem pasu za leve zavijalce pa je razlika slabih 66 sekund. Ta rezultat malo poslabša zamude na celotnem kraku, temu primerno se razlikujejo tudi nivoji uslug (v Sidri nivo D, v Vistro nivo E).

### 9.3 Rezultati analize učinkovitosti na križišču s Kadilnikovo ulico (B25)

Rezultati primerjave časovnih zamud po posameznih krakih v križišču s Kadilnikovo ulico so prikazani s pomočjo Grafikona 3.

Grafikon 3: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – Kadilnikova ulica



Iz Grafikona 3 lahko razberemo, da imamo na vseh štirih krakih zelo majhne razlike kar se tiče povprečnih časovnih zamud in da se rezultati kar dobro ujemajo. Najmanjša razlika zamud je na kraku A in na kraku C (0,4 sekunde), največja razlika pa je na kraku B, kjer se zamuda v obeh programskih orodjih razlikuje za 3,7 sekunde (na kraku D 3,0 sekunde). Ker so razlike tako majhne, se tudi nivoji uslug na vseh štirih krakih ujemajo. Ti so prikazani v Preglednici 15, v kateri imamo prikazane tudi časovne razlike po posameznih voznih pasovih.

Preglednica 15: Rezultati analize – Kadilnikova ulica (B25)

|                                       | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | B                     | 16,3                            | B                     | 15,3                            | 1,0                |
| Naravnost                             | B                     | 12,1                            | B                     | 11,8                            | 0,3                |
| Desno                                 | B                     | 15,0                            | B                     | 11,9                            | 3,1                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>B</b>              | <b>12,6</b>                     | <b>B</b>              | <b>12,2</b>                     | <b>0,4</b>         |
| <b>KRAK B<br/>(Kadilnikova ulica)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | D                     | 41,6                            | D                     | 45,1                            | 3,5                |
| Naravnost                             | D                     | 39,6                            | D                     | 45,1                            | 5,5                |
| Desno                                 | D                     | 41,5                            | D                     | 45,1                            | 3,6                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>D</b>              | <b>41,4</b>                     | <b>D</b>              | <b>45,1</b>                     | <b>3,7</b>         |
| <b>KRAK C<br/>(Dunajska cesta J)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | C                     | 31,0                            | C                     | 23,9                            | 7,1                |
| Naravnost                             | A                     | 5,8                             | A                     | 6,7                             | 0,9                |
| Desno                                 | B                     | 11,3                            | A                     | 6,7                             | 4,6                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>A</b>              | <b>7,0</b>                      | <b>A</b>              | <b>7,4</b>                      | <b>0,4</b>         |
| <b>KRAK D<br/>(Turnerjeva ulica)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | D                     | 42,2                            | D                     | 39,1                            | 3,1                |
| Naravnost                             | D                     | 40,2                            | D                     | 39,1                            | 1,1                |
| Desno                                 | D                     | 42,2                            | D                     | 39,1                            | 3,1                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>D</b>              | <b>42,1</b>                     | <b>D</b>              | <b>39,1</b>                     | <b>3,0</b>         |

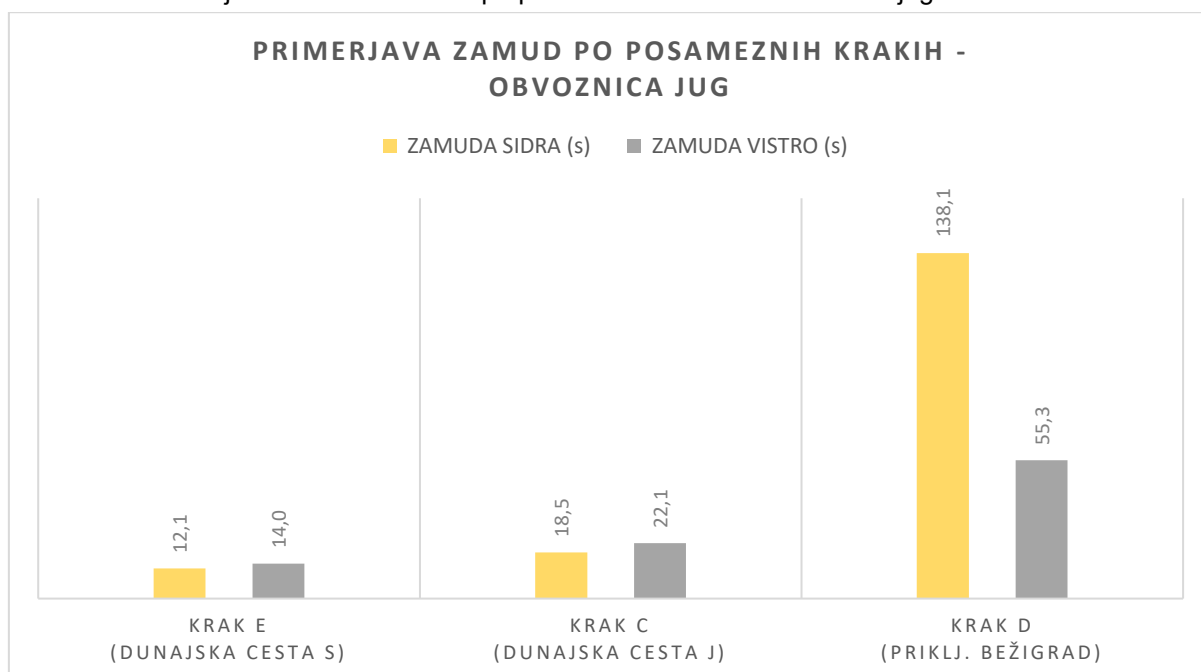
Tudi iz zgornje preglednice lahko razberemo, da so majhne razlike tudi po posameznih pasovih, prav na vseh krakih. V glavni prometni smeri se na kraku A časovne zamude najmanj razlikujejo na voznem pasu za desne zavijalce (3,1 sekunde), na kraku C pa pri vožnji levo, in sicer 7,1 sekund. Doseženi nivoji uslug v obeh programskih orodjih na zgoraj omenjenih krakih se popolnoma ujemajo povsod, razen na pasu za desne zavijalce kraka C (nivo B v Sidri in nivo A v Vistru).

Na kraku B je največja razlika pri vožnji naravnost (5,5 sekund), pri vožnji levo in desno pa je razlika 3,5 sekunde. Na kraku D pa pri levih in desnih zavijalcih (3,1 sekunde), na pasu za naravnost pa 1,1 sekunda. V tem primeru se vsi doseženi nivoji uslug popolnoma ujemajo.

#### 9.4 Rezultati analize učinkovitosti na križišču z obvoznico – jug (B5)

Rezultati primerjave časovnih zamud po posameznih krakih v križišču z obvoznico jug, so prikazani s pomočjo Grafikona 4.

Grafikon 4: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – obvoznica jug



Za razliko od prejšnjih križišč, imamo na južnem križišču z mestno obvoznico le tri krake, in sicer na kraku E je razlika povprečnih zamud relativno majhna (1,9 sekund). Prav tako je na kraku C, pri katerem razlika znaša 3,6 sekund. Večja razlika v povprečnih zamudah je le na kraku D, kjer se na Dunajsko cesto v jutranji prometni konici pripelje največ vozil v tem križišču. Ta znaša slabih 83 sekund. Razlog za tako veliko razliko je razložen pod Preglednico 16, kjer je vidna razčlenitev rezultatov po posameznih vozniških pasovih.

Preglednica 16: Rezultati analize – obvoznica jug (B5)

|                              | SIDRA INTERSECTION |                         | PTV VISTRO    |                         |             |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------|
| KRAK E<br>(Dunajska cesta S) | NIVO<br>USLUG      | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | NIVO<br>USLUG | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | RAZLIKA (s) |
| Levo                         | D                  | 38,2                    | D             | 41,3                    | 3,1         |
| Naravnost                    | A                  | 6,4                     | A             | 7,9                     | 1,5         |
| <b>Celoten krak</b>          | <b>B</b>           | <b>12,1</b>             | <b>B</b>      | <b>14,0</b>             | <b>1,9</b>  |
| KRAK C<br>(Dunajska cesta J) | NIVO<br>USLUG      | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | NIVO<br>USLUG | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | RAZLIKA (s) |
| Naravnost                    | C                  | 22,1                    | C             | 22,1                    | 0,0         |
| Desno                        | B                  | 13,5                    | /             | /                       | /           |
| <b>Celoten krak</b>          | <b>B</b>           | <b>18,5</b>             | <b>C</b>      | <b>22,1</b>             | <b>3,6</b>  |
| KRAK D<br>(priklj. Bežigrad) | NIVO<br>USLUG      | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | NIVO<br>USLUG | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | RAZLIKA (s) |
| Levo                         | D                  | 45,2                    | E             | 55,3                    | 10,1        |
| Naravnost                    | D                  | 40,5                    | E             | 55,3                    | 14,8        |
| Desno                        | F                  | 219,2                   | /             | /                       | /           |
| <b>Celoten krak</b>          | <b>F</b>           | <b>138,1</b>            | <b>E</b>      | <b>55,3</b>             | <b>82,8</b> |

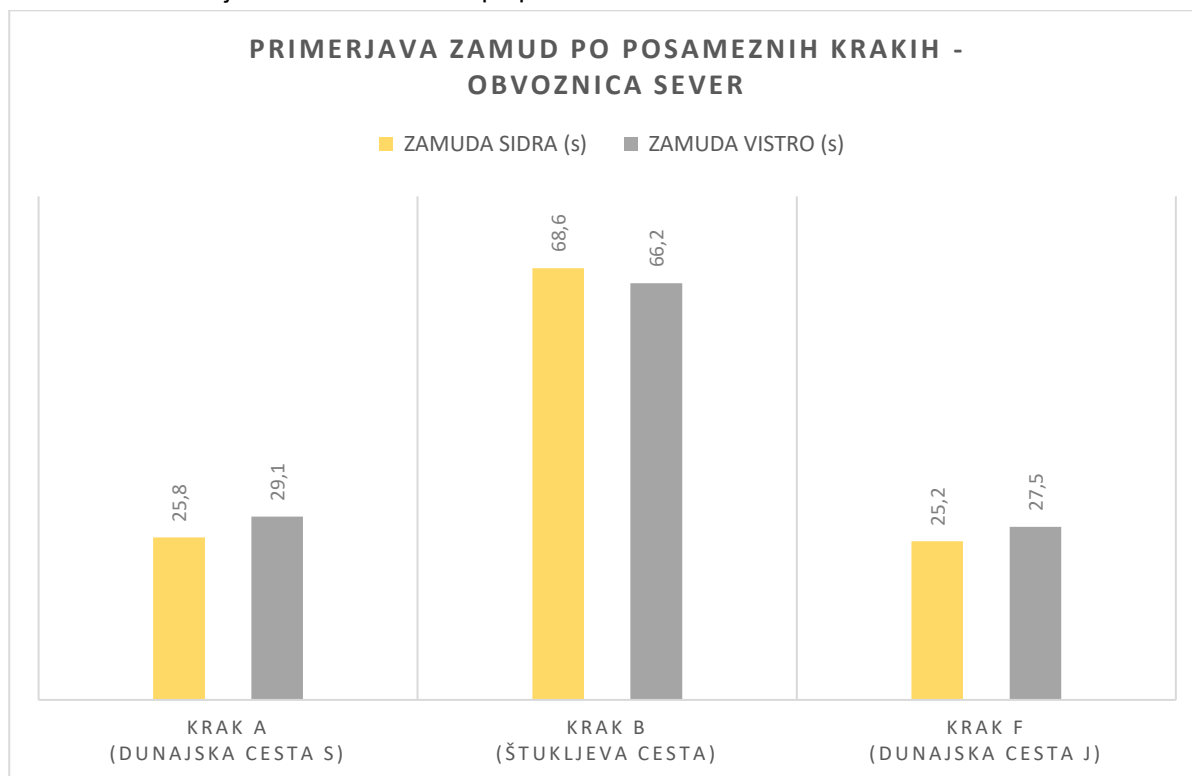
Kot je bilo vidno že iz Grafikona 4, je tudi razlika zamud po posameznih pasovih na kraku E relativno majhna. Za leve zavijalce je razlika med programoma 3,1 sekunde, za vožnjo naravnost pa 1,5 sekunde. Tudi nivoji uslug na tem kraku so popolnoma enaki. Na kraku C se pri vožnji naravnost rezultata pridobljena iz obeh programov popolnoma ujemata. Desni zavijalci na tem kraku so kanalizirani. Programsko orodje Sidra izračuna zamude tudi na taki vrsti voznega pasu, medtem ko ga program Vistro ne.

Tako je tudi na kraku D, pri katerem je v programu Sidra celotna povprečna zamuda znatno večja zaradi upoštevanja desnega zavijanja, medtem ko ga program Vistro ne upošteva. To je tudi razlog za tolikšno razliko med zamudami obeh programov in za različne nivoje uslug na vseh prometnih pasovih. Če tega kraka ne upoštevamo se na nivoju celotnega križišča rezultati kar dobro ujemajo.

## 9.5 Rezultati analize učinkovitosti na križišču z obvoznico – sever (B5)

Rezultati primerjave časovnih zamud po posameznih krakih v križišču z obvoznico sever so prikazani s pomočjo Grafikona 5.

Grafikon 5: Primerjava časovnih zamud po posameznih krakih – obvoznica sever



Na zadnjem obravnavanem križišču je na kraku A razlika med zamudami obeh programskih orodij malo manjša od 4 sekund. Nivo uslug v obeh primerih je enak vrednosti C. Takšen nivo uslug dobimo tudi na kraku F, pri katerem je skupna razlika zamud enaka 2,3 sekund.

Na kraku B je doseženi nivo uslug E. Razlika na celotnem kraku znaša 2,4 sekund. Na vseh treh krakih lahko opazimo zelo podobno razliko v zamudah. V spodnji Preglednici 17 je prikazana razčlenitev zamud in razlik po posameznih vozniških pasovih.

Preglednica 17: Rezultati analize – obvoznica sever (B5)

|                                      | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Naravnost                            | C                     | 26,1                            | C                     | 29,1                            | 3,0                |
| Desno                                | C                     | 23,7                            | /                     | /                               | /                  |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>C</b>              | <b>25,8</b>                     | <b>C</b>              | <b>29,1</b>                     | <b>3,3</b>         |
| <b>KRAK B<br/>(Štukljeva cesta)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | E                     | 64,6                            | E                     | 70,4                            | 5,8                |
| Naravnost                            | F                     | 87,9                            | E                     | 69,2                            | 18,7               |
| Desno                                | D                     | 38,9                            | D                     | 36,9                            | 2,0                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>E</b>              | <b>68,6</b>                     | <b>E</b>              | <b>66,2</b>                     | <b>2,4</b>         |
| <b>KRAK F<br/>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 50,7                            | E                     | 56,9                            | 6,2                |
| Naravnost                            | A                     | 7,3                             | A                     | 8,2                             | 0,9                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>C</b>              | <b>25,2</b>                     | <b>C</b>              | <b>27,5</b>                     | <b>2,3</b>         |

V Preglednici 17 lahko na kraku A opazimo enak primer kanaliziranih desnih zavijalcev kot pri prejšnjem križišču. Kot že omenjeno, program Vistro za ta vozni pas ne izračuna povprečnih zamud, ampak v tem primeru to bistveno ne vpliva na skupno razliko na celotnem kraku med obema programoma.

Pri tem križišču največjo razliko v povprečnih zamudah med obema programoma najdemo na kraku B, ki je zelo prometen in zato lahko pride do odstopanj. Razlika je največja pri vožnji naravnost (18,7 sekund), na pasu za leve zavijalce se razlikuje za 5,8 sekund, medtem ko je za desne zavijalce zamuda še manjša (2,0 sekundi). Doseženi nivoji uslug se razlikam primerno razlikujejo na voznem pasu za naravnost.

Na kraku F se zamude levih zavijalcev razlikujejo za dobrih 6 sekund (različen je tudi nivo uslug), medtem ko se za vožnjo naravnost skozi križišče zamude bistveno ne razlikujejo.

## 9.6 Primerjava programov v fazi analize obstoječega stanja

Najprej je bila izvedena začetna primerjava programov, nato primerjava v fazi zasnove prometnih modelov, naslednja primerjava pa je v fazi analize obstoječega stanja.

Zanimivo je, da pri programu Vistro samo z enim klikom dobimo rezultate nivoja uslug in časovnih zamud na posameznih voznih pasovih. Tudi če kasneje spremenimo vnesene podatke o npr. prometnih obremenitvah, se rezultati istočasno posodobijo.

Pri programu Sidra moramo po vsaki naknadni spremembi podatkov ponovno zagnati analizo, da dobimo rezultate. Nato moramo poiskati zavihek »site displays« in tam izbrati, katere rezultate želimo videti, nato pa jih program odpre v novih zavihkih, medtem ko so vsi rezultati v Vistru prikazani na obstoječi mreži.

Kar se tiče pridobljenih rezultatov mer uspešnosti križišč so ugotovitve naslednje:

- v glavnem so vse povprečne časovne zamude in vsi nivoji uslug slabši v programu Vistro;
- rezultati se večinoma po vseh križiščih ujemajo, z izjemo nekaterih krakov križišč;
- na obeh križiščih z mestno obvoznico se rezultati razlikujejo zaradi tega, ker program Vistro ne upošteva zamud kanaliziranih desni zavijalcev;
- na treh voznih pasovih se doseženi nivoji uslug razlikujejo za dva nivoja uslug, drugače so identični ali pa se razlikujejo za en razred;
- s podatki o dejanski zamudah in kolonah na terenu bi lahko podali oceno o tem, katero programsko orodje je bolj natančno.

## 10 OPTIMIZACIJA KRMILNIH PARAMETROV KRIŽIŠČ

Z optimizacijo krmilnih programov križišč želimo v največji možni meri zmanjšati trenutne zamude in zastoje, ki se trenutno pojavljajo na omenjenih križiščih vzdolž Dunajske ceste v Ljubljani. To želimo storiti brez poseganja v trenutno geometrijo križišč ali brez morebitne rekonstrukcije. Cilj je torej optimizirati mere učinkovitosti, in sicer trenutne časovne zamude ter nivoje uslug.

Optimizacija ne bo opravljena po posameznih križiščih, pač pa v linijski koordinaciji vseh križišč, kar še dodatno izboljša stanja in pretok vozil vzdolž mestne arterije. To predstavlja tudi zadnji sklop te magistrske naloge, v katerem bomo primerjali rezultate optimizacije po posameznih križiščih, primerjali zamude med obema programoma in ugotavljali razlike pri tvorjenju mreže in linijske koordinacije v obeh programskih orodjih.

Kot je navedeno v poglavju 3.1.1.2 Koordinacija semaforiziranih križišč, so najpomembnejši parametri koordinacije:

- dolžina cikla (C),
- razdelitev cikla na zelene čase – signal split,
- časovni zamik – offset (začetek delovanja referenčne faze glede na časovno točko 0, na posameznem križišču).

V obeh programskih orodjih imamo na voljo izvedbo linijske koordinacije tako, da optimiziramo le dolžino cikla, lahko pa tudi signal split in offset. V obeh programskih orodjih smo se odločili za optimizacijo vseh treh parametrov. Za referenčno križišče izbrali Dimičevo ulico (B3). Rezultati optimizacije so opisani in prikazani v naslednji podpoglavjih.

### Metodologija optimizacije mreže v programu Sidra Intersection

Program Sidra Intersection omogoča optimizacijo tako imenovanega »network modela«, ki je poseben lane-based mikroanalitični model in ni zasnovan na principu linkov, kakor je to v programu PTV Vistro. Metode, uporabljene v programu Sidra, omogočajo določitev naslednjih pomembnih parametrov:

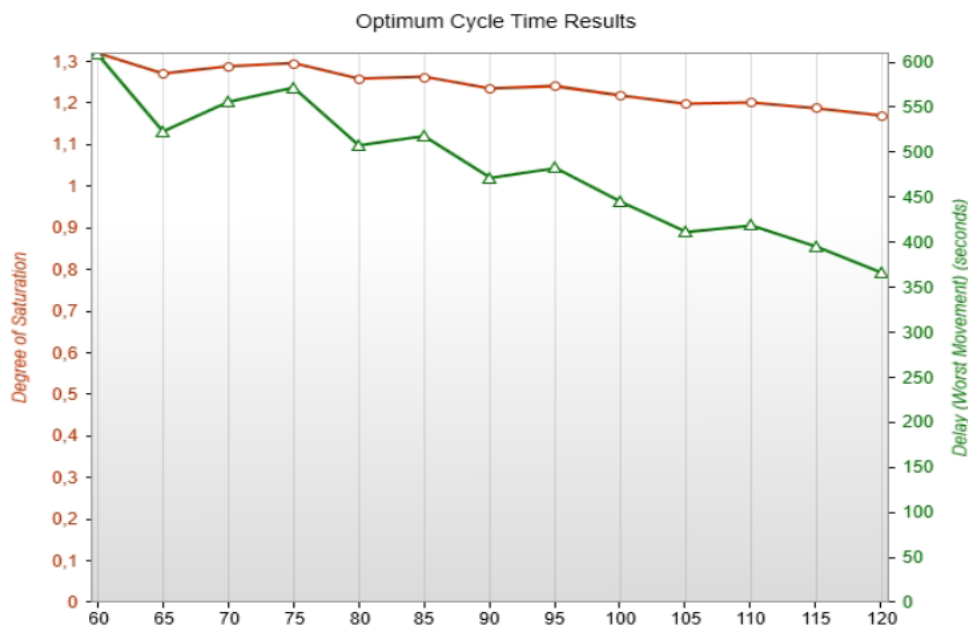
- širjenje zastojev nazaj, ko kolone ovirajo in segajo že v drugo bližnje križišče,
- omejitev kapacitet na prenasajenih pasovih za določanje pretoka.

Sidra uporablja iterativno aproksimacijsko metodo za iskanje uravnotežene rešitve pri modeliranju interakcije vozil med križišči, kar omogoča zmanjšanje teh kapacitet, ki so posledica nazaj segajočih zastojev.

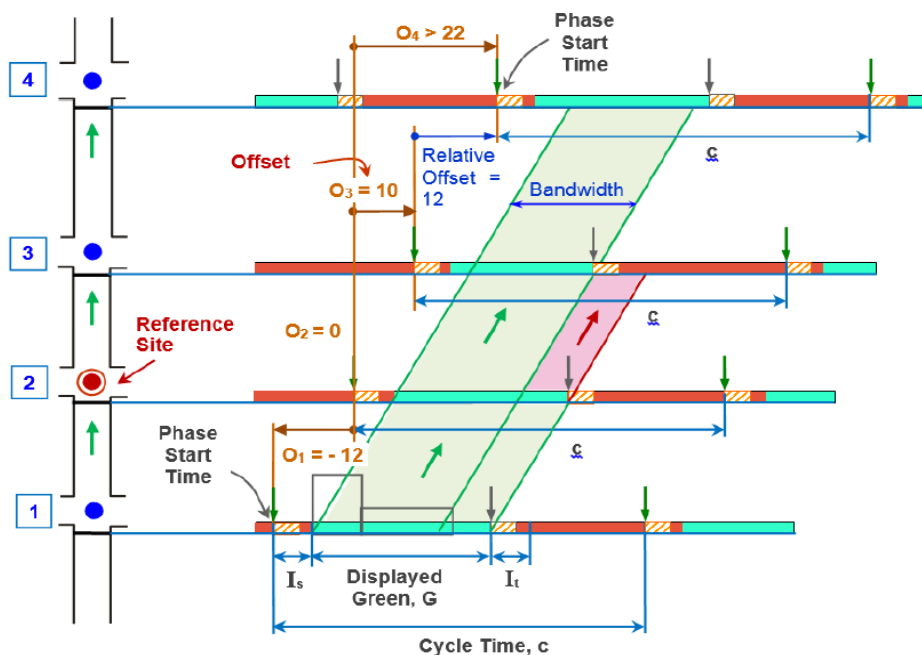
V prvem koraku je bilo potrebno tvoriti network model, ki smo ga ustvarili s povezovanjem križišč vzdolž Dunajske ceste. Nato smo ustvarili dve trasi, eno v smeri proti centru in eno iz centra proti severu.

Program opravlja linijsko koordinacijo na principu metode HCM 6, pri kateri se zmogljivost križišč vrednosti po povprečni časovni zamudi. Ciljni nivo uslug za vso mrežo križišč je nivo uslug D. Nastavili smo, da program izbere optimalni čas cikla (optimum cycle time), da bodo povprečne časovne zamude najmanjše. Najnižji možen čas cikla je 60 sekund, največji pa 120 sekund. Program je računal na 5 sekund natančno.

Po opravljeni linijski koordinaciji so rezultati pokazali, da je optimalni cikel v programu Sidra enak 105 sekundam (prej 100 s). Grafični prikaz pridobitve tega rezultata je prikazan na Sliki 24, primer časovno-prostorskega diagrama pa je prikazan na Sliki 25.



Slika 24: Prikaz postopka za določitev optimalnega cikla (C) v programu Sidra



Slika 25: Primer časovno-prostorskega diagrama v programu Sidra (Vir: [2])

## Metodologija optimizacije mreže v programu PTV Vistro

Programsko orodje PTV Vistro omogoča optimizacijo celotnega omrežja in pri tem (za razliko od lokalne optimizacije) upošteva interakcijo med izbranimi semaforiziranimi križišči. Teh interakcij program ne analizira po metodi HCM, ampak so te interakcije modelirane s pomočjo disperzijskega modela. Ta nam rezultate ponuja s pomočjo relativnega položaja v času in prostoru (offseti in razdalje med križišči).

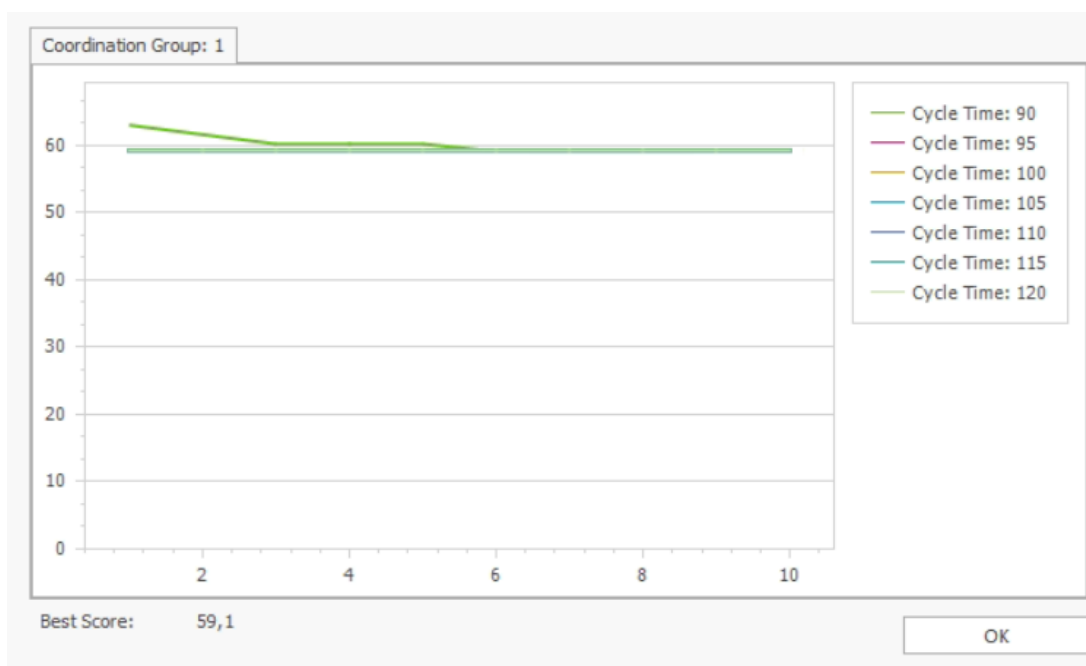
Cilj optimizacije je prilagoditi krmilne programe semaforjev tako, da lahko vozila brez ustavljanja prevozijo več zaporednih križišč v času zelene faze na vseh teh.

Določiti je bilo potrebno »routes« oziroma poti, od severa proti jugu in od juga proti severu. S tem dobimo obe smeri potovanja v času jutranje konice na Dunajski cesti.

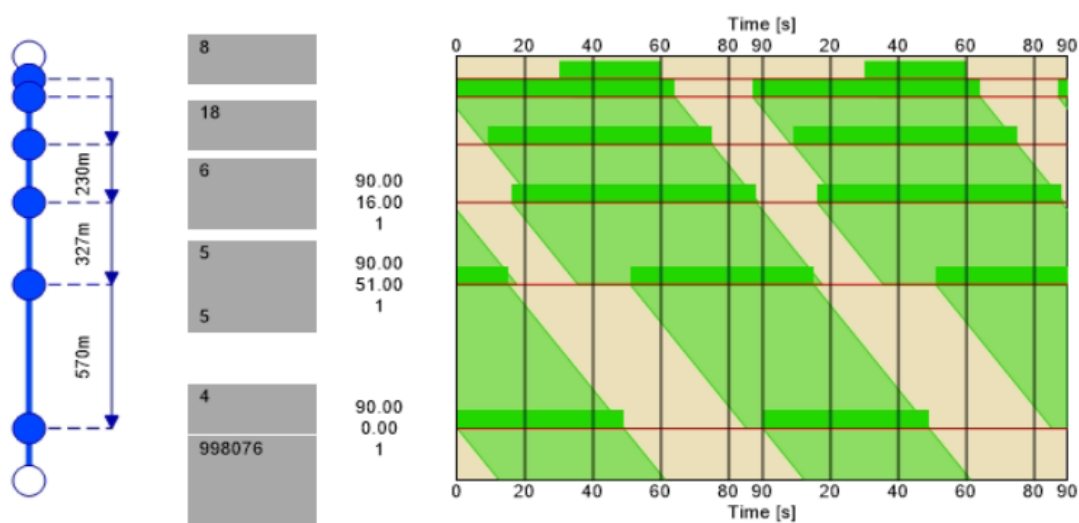
Za izračun linijske koordinacije nam program ponudi dva algoritma, ki sta si zelo različna in ponujata tudi drugačne rezultate. Algoritma sta:

- genetski (*ang. Genetic*) – privzeta metoda,
- algoritem vzpenjanja (*ang. Hill Climbing Algorithm*).

V našem primeru smo izbrali algoritem vzpenjanja. Optimizirali smo vse tri glavne parametre koordinacije (cikel, split in offset). Najnižja meja dolžine cikla znaša 60 sekund, najvišja pa 120 sekund, program je računal po koraku 5 sekund. Offset smo optimizirali na sekundo natančno. Rezultati so pokazali, da je optimalna dolžina cikla v programu Vistro od 90 do 120 sekund (program je za optimalnega izbral 90 sekund). Grafični prikaz pridobitve tega rezultata je prikazan na Sliki 26, na sliki 27 pa je prikazan časovno-prostorski diagram v programu Vistro.



Slika 26: Postopek izračuna optimalnega cikla (C) v programu Vistro

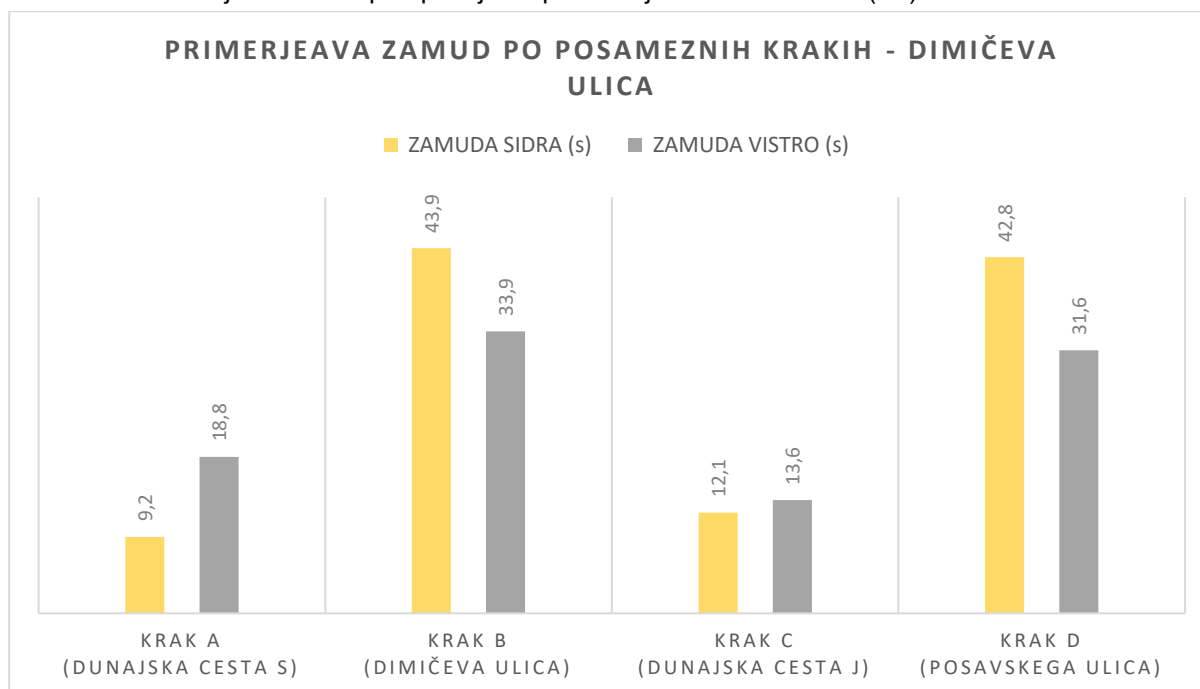


Slika 27: Časovno-prostorski diagram v programu PTV Vistro

### 10.1 Optimizacija krmilnega programa na križišču – Dimičeva ulica (B3)

V prvem sklopu optimizacije smo primerjavo časovnih zamud v križišču Dunajske ceste z Dimičevo ulico najprej izvedli po posameznih krakih. Rezultati so prikazani s pomočjo Grafikona 6.

Grafikon 6: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Dimičeva ulica (B3)



Po opravljeni optimizaciji celotne mreže križišč iz zgornjega grafikona vidimo, da so se razlike po vseh krakih križišča občutno zmanjšale. V obstoječem stanju je bila največja razlika na kraku B (približno 23 sekund), po optimizaciji pa ta znaša 10 sekund.

Največja razlika v tem primeru je na kraku D (11,2 sekund), na ostalih krakih je razlika manjša od 10 sekund. V Preglednici 18 je prikazana razčlenitev povprečnih časovnih zamud po posameznih voznih pasovih.

Preglednica 18: Rezultati optimizacije – križišče Dimičeva ulica (B3)

|                                            | SIDRA INTERSECTION          |                                       | PTV VISTRO                  |                                       |                    |
|--------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A</b><br><b>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                       | C                           | 24,3                                  | C                           | 27,8                                  | 3,5                |
| Naravnost                                  | A                           | 6,4                                   | B                           | 17,3                                  | 10,9               |
| Desno                                      | B                           | 10,6                                  | B                           | 17,8                                  | 7,2                |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>A</b>                    | <b>9,2</b>                            | <b>B</b>                    | <b>18,8</b>                           | <b>9,6</b>         |
| <b>KRAK B</b><br><b>(Dimičeva ulica)</b>   | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                       | D                           | 52,8                                  | D                           | 42,4                                  | 10,4               |
| Naravnost                                  | D                           | 40,4                                  | C                           | 31,2                                  | 9,2                |
| Desno                                      | D                           | 42,1                                  | C                           | 31,2                                  | 10,9               |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>D</b>                    | <b>43,9</b>                           | <b>C</b>                    | <b>33,9</b>                           | <b>10,0</b>        |
| <b>KRAK C</b><br><b>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                       | C                           | 23,7                                  | C                           | 30,9                                  | 7,2                |
| Naravnost                                  | A                           | 9,9                                   | B                           | 11,4                                  | 1,5                |
| Desno                                      | B                           | 15,6                                  | B                           | 11,6                                  | 4,0                |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>B</b>                    | <b>12,1</b>                           | <b>B</b>                    | <b>13,6</b>                           | <b>1,5</b>         |
| <b>KRAK D</b><br><b>(Posavskega ulica)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                       | E                           | 55,3                                  | D                           | 41,6                                  | 13,7               |
| Naravnost                                  | D                           | 39,0                                  | C                           | 28,9                                  | 10,1               |
| Desno                                      | D                           | 40,7                                  | C                           | 28,9                                  | 11,8               |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>D</b>                    | <b>42,8</b>                           | <b>C</b>                    | <b>31,6</b>                           | <b>11,2</b>        |

Tudi po posameznih voznih pasovih se po opravljeni optimizaciji razlike med obema programoma zmanjšajo. Na kraku A znaša največja razlika 10,9 sekund pri vožnji naravnost, za vožnjo levo 3,5 sekunde in za vožnjo desno 7,2 sekund. Enaka razlika je tudi pri levih zavijalcih na kraku B, ostala vozna pasova imata zamude manjše od 8 sekund. Največja razlika na posameznem voznem pasu znaša 13,7 sekund pri levih zavijalcih na kraku D. Levi in desni zavijalci krakov B in D imajo vsi razliko približno okoli 10 sekund. Povsod, razen na petih voznih pasovih v križišču, se razlikujejo tudi doseženi nivoji uslug.

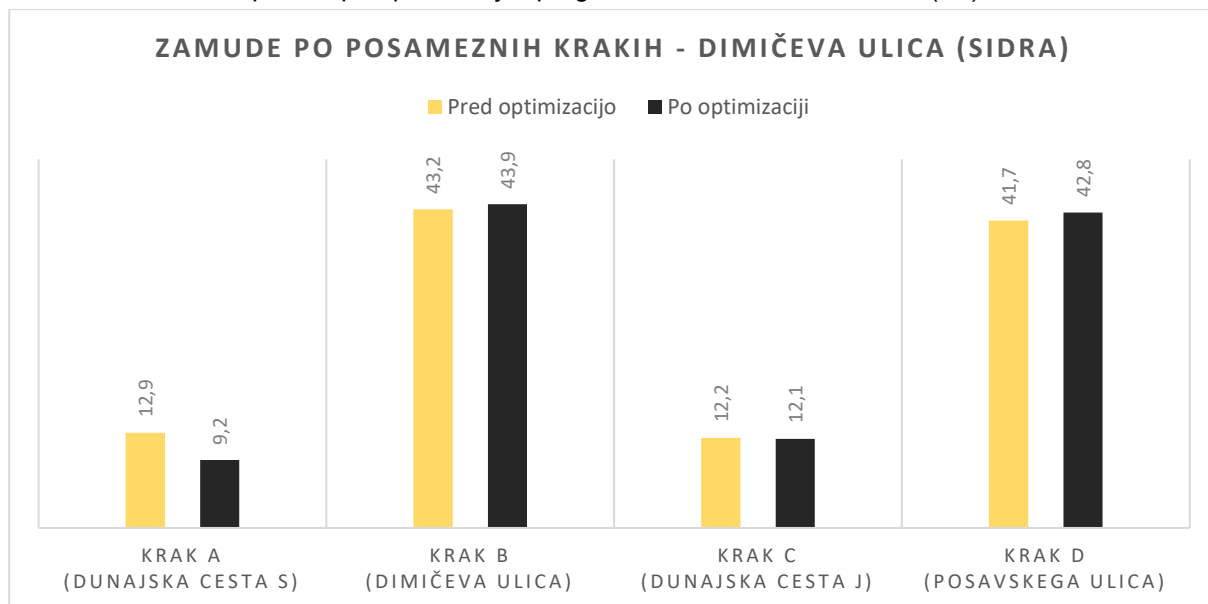
### Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji

V sklopu optimizacije križišč je bila izvedena tudi primerjava časovnih zamud ločeno v obeh programskih orodjih posebej.

Rezultati za križišče Dunajske ceste z Dimičevo ulico, so prikazani s pomočjo spodnjih grafikonov.

- Program Sidra Intersection

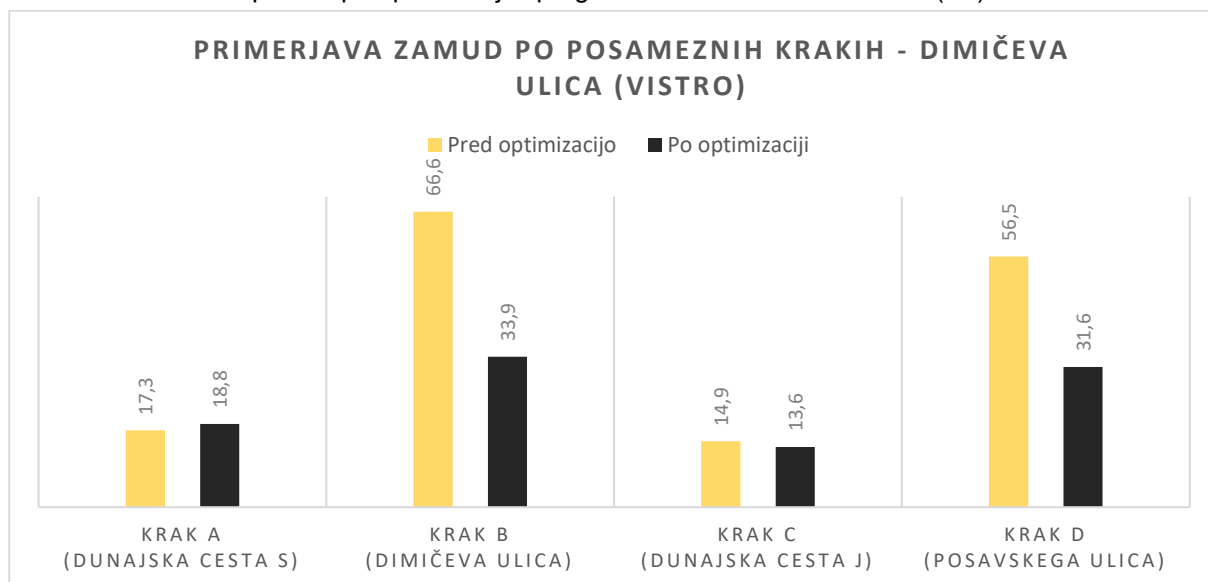
Grafikon 7: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Dimičeva ulica (B3)



Po opravljeni optimizaciji gre pričakovati, da so časovne zamude manjše kot v obstoječem stanju, vendar to ni primer na vseh krakih. V programu Sidra se zamude zmanjšajo največ na kraku A, in sicer za 3,7 sekunde. Na preostalih krakih so zamude približno enake kot v obstoječem stanju. Enaki so prav tako nivoji uslug na vseh krakih, le na kraku A se spremenijo v nivo A.

- Program PTV Vistro

Grafikon 8: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Dimičeva ulica (B3)

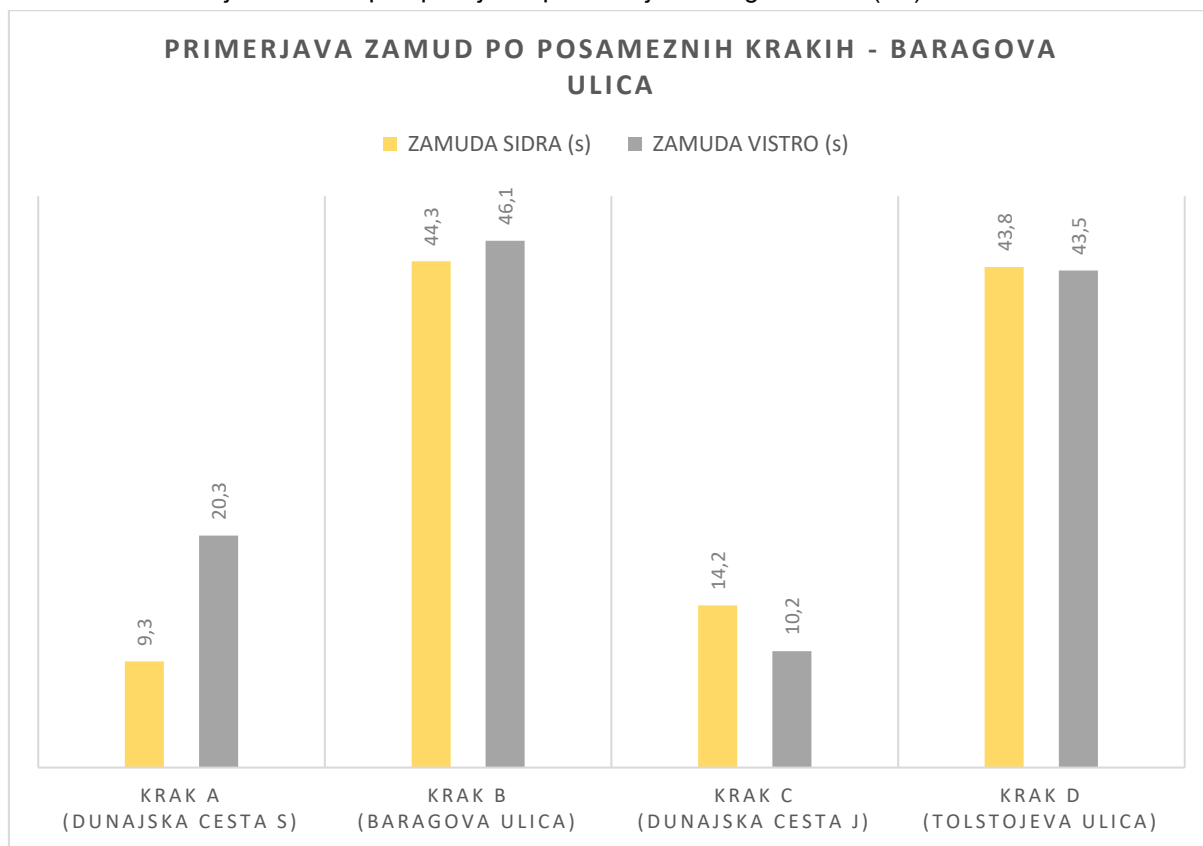


V programu Vistro so časovne razlike pred in po optimizaciji bolj izrazite, kot v programu Sidra. Na kraku A se sicer zamude malenkost povečajo, se pa zato na kraku B in D zamude občutno zmanjšajo. V prvem primeru za slabih 30 sekund, na kraku D pa za približno 25 sekund, kar je dobra izboljšava zamud na tem križišču. Temu primerno se spremenijo tudi nivoji uslug na teh dveh krakih – iz nivoja E v nivo D.

## 10.2 Optimizacija krmilnega programa na križišču – Baragova ulica (B4)

Drugo križišče v vrsti optimiziranih križišč je križišče Dunajske ceste z Baragovo ulico. Zamude so prikazane v Grafikonu 9, kjer so rezultati prikazani po posameznih krakih križišča.

Grafikon 9: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Baragova ulica (B4)



Tudi v tem primeru so se povprečne zamude v obeh programskih orodjih po opravljeni optimizaciji v celoti zmanjšale. V obstoječem stanju sta bili največji razliki med obema programoma okoli 20 oziroma 25 sekund, po optimizaciji največja časovna razlika znaša dobrih 11 sekund (krak A). Na kraku C je razlika le 4 sekunde, medtem ko je na preostalih dveh krakih razlika zanemarljivo majhna.

V Preglednici 19 je prikazana razčlenitev zamud po posameznih vozniških pasovih križišča Baragove in Dunajske ceste.

Preglednica 19: Rezultati optimizacije – križišče Baragova ulica (B4)

|                                      | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | C                     | 25,2                            | B                     | 19,1                            | 6,1                |
| Naravnost                            | A                     | 6,5                             | C                     | 20,1                            | 13,6               |
| Desno                                | B                     | 11,3                            | C                     | 22,9                            | 11,6               |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>A</b>              | <b>9,3</b>                      | <b>C</b>              | <b>20,3</b>                     | <b>11,0</b>        |
| <b>KRAK B<br/>(Baragova ulica)</b>   | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | D                     | 51,4                            | D                     | 51,8                            | 0,4                |
| Naravnost                            | D                     | 39,5                            | D                     | 43,4                            | 3,9                |
| Desno                                | D                     | 42,8                            | D                     | 43,4                            | 0,6                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>44,3</b>                     | <b>D</b>              | <b>46,1</b>                     | <b>1,8</b>         |
| <b>KRAK C<br/>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | C                     | 31,6                            | D                     | 36,7                            | 5,1                |
| Naravnost                            | B                     | 12,6                            | A                     | 8,1                             | 4,5                |
| Desno                                | B                     | 17,4                            | A                     | 8,1                             | 9,3                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>B</b>              | <b>14,2</b>                     | <b>B</b>              | <b>10,2</b>                     | <b>4,0</b>         |
| <b>KRAK D<br/>(Tolstojeva ulica)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                 | E                     | 57,2                            | E                     | 69,7                            | 12,5               |
| Naravnost                            | D                     | 36,4                            | C                     | 30,6                            | 5,8                |
| Desno                                | D                     | 39,6                            | C                     | 30,6                            | 9,0                |
| <b>Celoten krak</b>                  | <b>D</b>              | <b>43,8</b>                     | <b>D</b>              | <b>43,5</b>                     | <b>0,3</b>         |

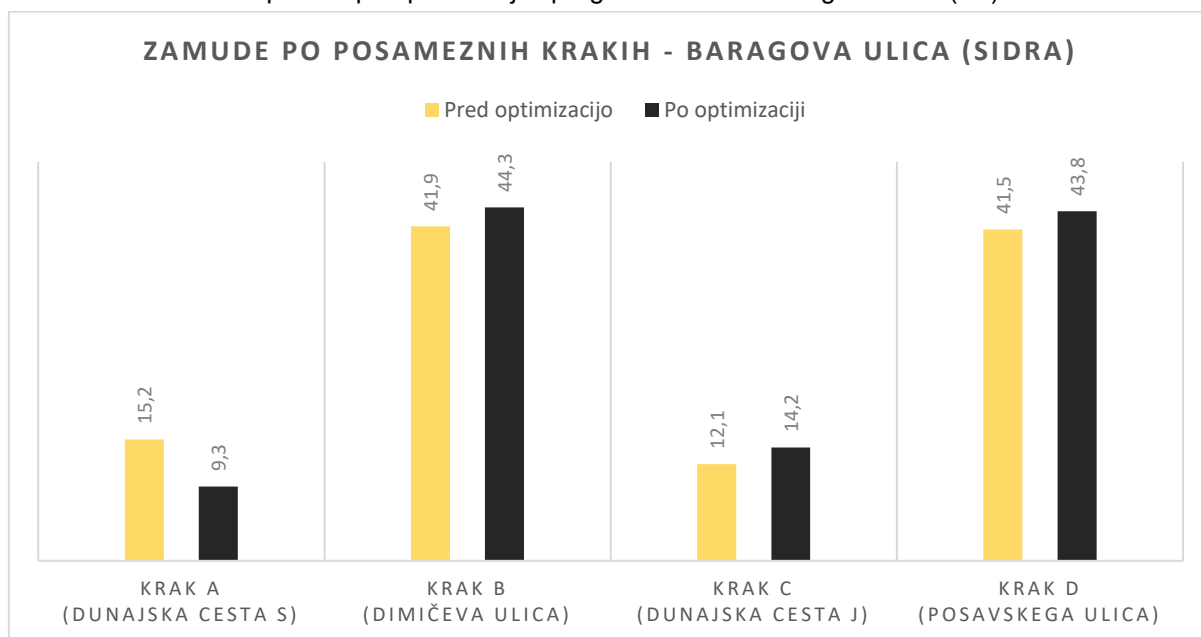
V glavni prometni smeri opazimo na kraku A majhno razliko pri levih zavijalcih, za vožnjo naravnost in desno pa se časovne zamude razlikujejo za okoli 12 sekund. Tudi nivoji uslug se temu primerno razlikujejo – na celotnem kraku je nivo uslug v Sidri enak A, v Vistru pa nivo uslug C. Majhne razlike so na kraku C, kjer je največja razlika 9,3 sekund pri desnih zavijalcih. Najmanjše razlike so tokrat na celotnem kraku B (manj kot 4 sekunde). Na kraku D pa so razlike na pasu za naravnost 5,8 sekund in desno 9,0 sekund, medtem ko se malo večje razlike pojavijo pri levih zavijalcih, in sicer 12,5 sekund. Ta optimiziran rezultat je približno 50 sekund manjši kot v obstoječem stanju, kar se pozna tudi na razliki zamud celotnega kraka. Nivoji uslug se časovnim razlikam primerno razlikujejo po posameznih vozniških pasovih.

### Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji

Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji za križišče Dunajske ceste z Baragovo ulico je prikazana s pomočjo spodnjih grafikonov.

- Program Sidra Intersection

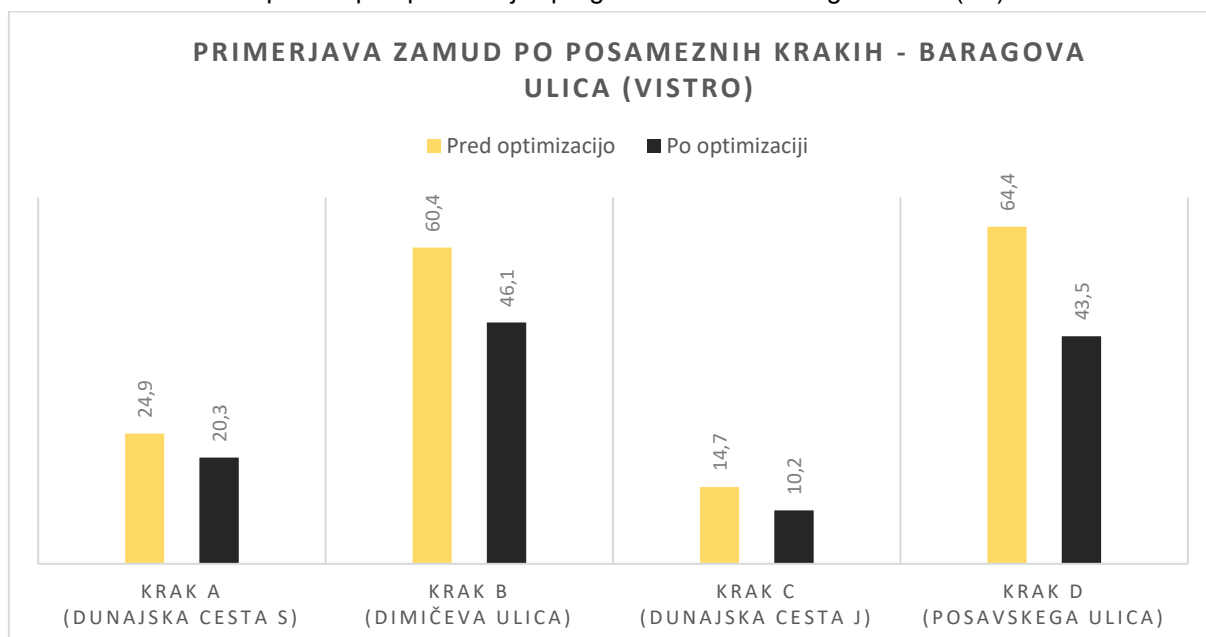
Grafikon 10: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Baragova ulica (B4)



Podobno kot pri prejšnjem križišču, se v programu Sidra zamude najbolj zmanjšajo na kraku A (slabih 6 sekund), ki predstavlja najbolj prometno obremenjen krak tega križišča v jutranji konici. Na preostalih krakih so zamude približno enake, kot v obstoječem stanju. Povsod se zamude poslabšajo za par sekund, kar bistveno ne vpliva na dolžine kolon. Enaki so prav tako nivoji uslug na vseh krakih, razen na kraku A se spremenijo iz nivoja B v nivo A.

- Program PTV Vistro

Grafikon 11: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Baragova ulica (B4)



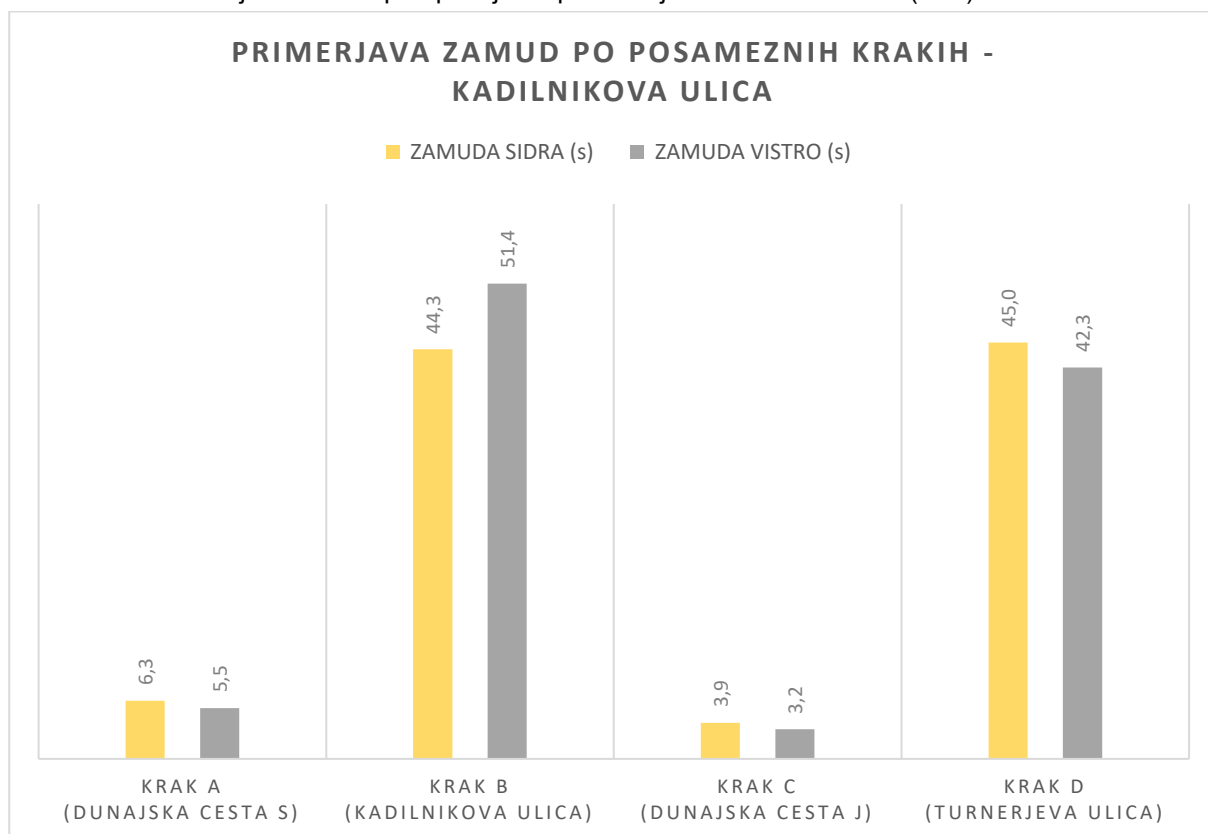
V programu Vistro so časovne razlike pred in po optimizaciji spet bolj izrazite. Križišči Dunajske ceste z Dimičevo in z Baragovo ulico, sta si zelo podobni, tako po obremenitvah in geometriji, kot tudi po rezultatih in razlikah med obema programoma.

Na kraku A in kraku C se zamude zmanjšajo le za približno 4 sekunde, se pa zato na kraku B in D veliko bolj. Na kraku B se zmanjšajo za 14,3 sekunde, na kraku D pa za 20,9 sekund, kar je tudi veliko bolje, kot v obstoječem stanju.

### 10.3 Optimizacija krmilnega programa na križišču – Kadilnikova ulica (B25)

Rezultati primerjave optimiziranih časovnih zamud po posameznih krakih v križišču s Kadilnikovo ulico so prikazani s pomočjo Grafikona 12.

Grafikon 12: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – Kadilnikova ulica (B25)



Pri križišču Dunajske ceste s Kadilnikovo ulico je omembe vredna zamuda le na kraku B, pri katerem razlika znaša 7,1 sekunde, na ostalih krakih pa so razlike med obema programoma zanemarljivo majhne in se skorajda povsem ujemajo.

V Preglednici 20 je prikazana razčlenitev rezultatov optimizacijo po posameznih vozniških pasovih.

Preglednica 20: Rezultati optimizacije – križišče Kadilnikova ulica (B25)

|                                       | SIDRA INTERSECTION    |                                 | PTV VISTRO            |                                 |                    |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A<br/>(Dunajska cesta S)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | B                     | 10,1                            | A                     | 7,1                             | 3,0                |
| Naravnost                             | A                     | 5,8                             | A                     | 5,4                             | 0,4                |
| Desno                                 | A                     | 7,1                             | A                     | 5,4                             | 1,7                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>A</b>              | <b>6,3</b>                      | <b>A</b>              | <b>5,5</b>                      | <b>0,8</b>         |
| <b>KRAK B<br/>(Kadilnikova ulica)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | D                     | 44,5                            | D                     | 51,4                            | 6,9                |
| Naravnost                             | D                     | 42,4                            | D                     | 51,4                            | 9,0                |
| Desno                                 | D                     | 44,4                            | D                     | 51,4                            | 7,0                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>D</b>              | <b>44,3</b>                     | <b>D</b>              | <b>51,4</b>                     | <b>7,1</b>         |
| <b>KRAK C<br/>(Dunajska cesta J)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | B                     | 10,6                            | B                     | 10,3                            | 0,3                |
| Naravnost                             | A                     | 3,4                             | A                     | 2,9                             | 0,5                |
| Desno                                 | A                     | 9,0                             | A                     | 2,9                             | 6,1                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>A</b>              | <b>3,9</b>                      | <b>A</b>              | <b>3,2</b>                      | <b>0,7</b>         |
| <b>KRAK D<br/>(Turnerjeva ulica)</b>  | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO<br/>USLUG</b> | <b>POVPREČNA<br/>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo                                  | D                     | 45,1                            | D                     | 42,3                            | 2,8                |
| Naravnost                             | D                     | 43,1                            | D                     | 42,3                            | 0,8                |
| Desno                                 | D                     | 45,1                            | D                     | 42,3                            | 2,8                |
| <b>Celoten krak</b>                   | <b>D</b>              | <b>45,0</b>                     | <b>D</b>              | <b>42,3</b>                     | <b>2,7</b>         |

Kot je razvidno iz zgornjega grafikona, imamo največjo razliko na kraku B, pri katerem znaša razlika pri vseh smereh vožnje približno od 7 do 9 sekund, kar je največ v tem križišču. Na kraku A so časovne razlike relativno majhne, saj je največja razlika na pasu za leve zavijalce in znaša 3,0 sekunde, podobno je tudi na kraku D, pri katerem je največja razlika na obeh vozniških pasovih zavijalcev (2,8 sekunde).

Malce večjo razliko lahko opazimo na kraku C pri vožnji levo (6,1 sekund).

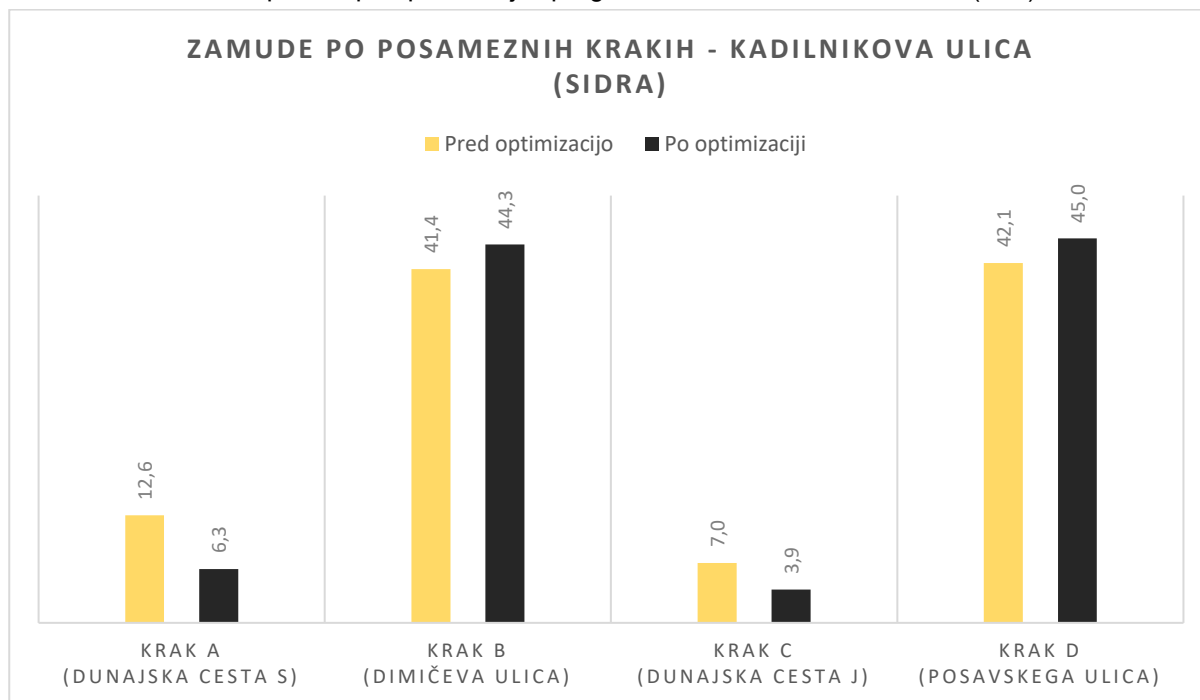
Zaradi majhnih časovnih razlik se nivoji uslug na vseh prometnih pasovih (z izjemo levih zavijalcev na kraku A) in posledično tudi po vseh krakih popolnoma ujemajo.

### Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji

Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji za križišče Dunajske ceste z Kadilnikovo ulico je prikazana s pomočjo Grafikona 13 in Grafikona 14.

- Program Sidra Intersection

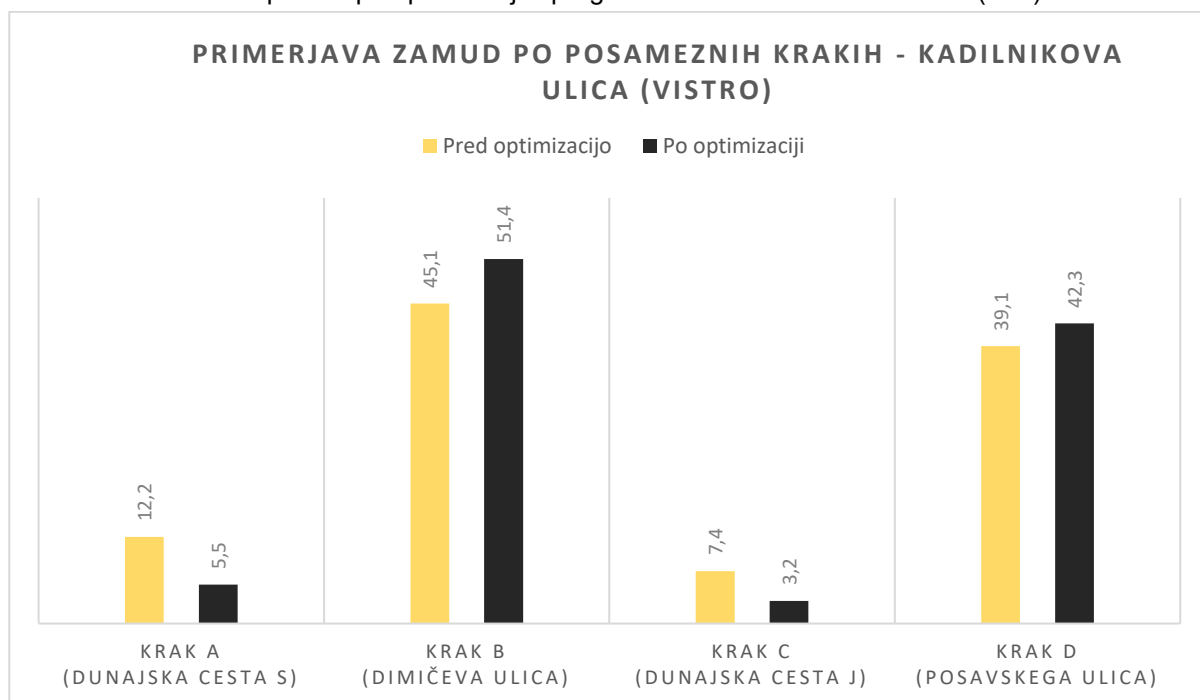
Grafikon 13: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – Kadilnikova ulica (B25)



Tudi v tem primeru se zamude najbolj zmanjšajo na krakih A in C (za 6,3 s in 3,1 s), na preostalih dveh krakih pa se za približno 3 sekunde v obeh primerih stanje poslabša, kar pa bistveno ne vpliva na prepustnost križišča.

- Program PTV Vistro

Grafikon 14: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – Kadilnikova ulica (B25)

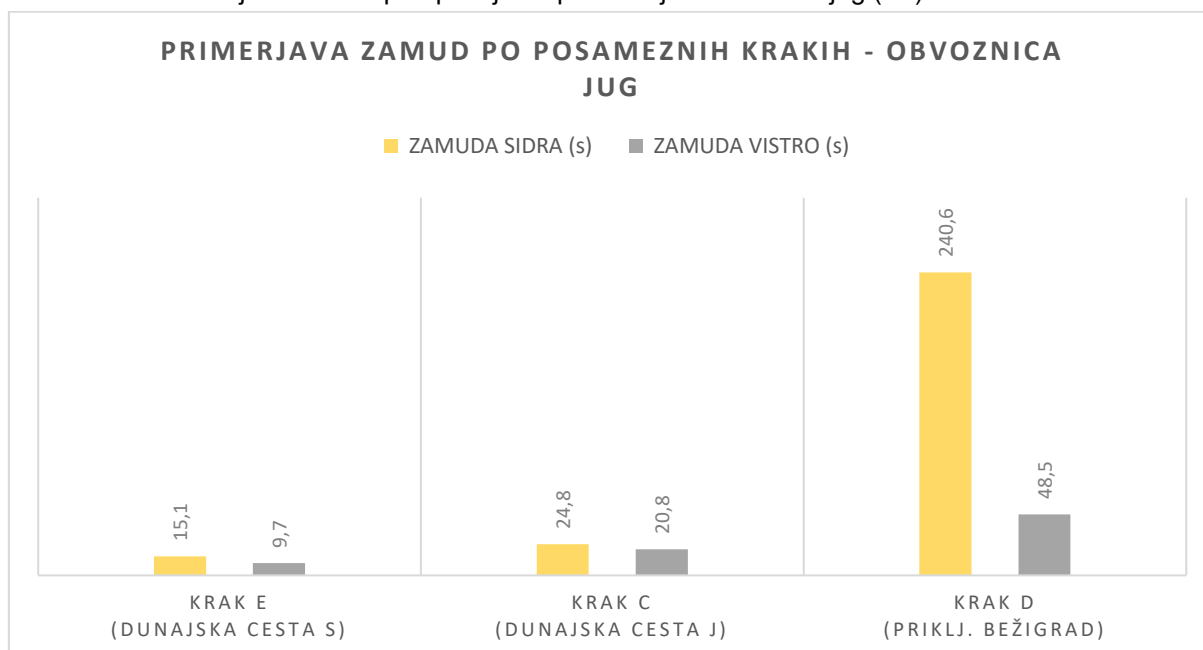


V programu Vistro dobimo relativno podoben diagram, kot pri programu Sidra. Zamude se prav tako najbolj zmanjšajo na krakih A in C, na preostalih dveh krakih pa se v obeh primerih stanje poslabša (za 6 sekund in 3 sekunde), kar pa bistveno ne poslabša prepustnosti križišča.

#### 10.4 Optimizacija krmilnega programa na križišču – obvoznica jug (B5)

Rezultati primerjave optimiziranih časovnih zamud po posameznih krakih, v južnem križišču z mestno obvoznico so prikazani na Grafikonu 15.

Grafikon 15: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – obvoznica jug (B5)



V glavni prometni smeri so bile izračunane razlike, ki so dokaj majhne in na obeh krakih znašajo okoli 5 sekund. Na kraku D imamo tudi v tem primeru ogromno razliko časovnih zamud, ki je podobna obstoječem stanju in znaša skorajda 200 sekund. Razlog za to in podrobnejša razčlenitev rezultatov je opisana spodaj in v Preglednici 21.

Preglednica 21: Rezultati optimizacije – križišče obvoznica jug (B5)

|                                     | SIDRA INTERSECTION |                      | PTV VISTRO |                      | RAZLIKA (s) |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|----------------------|-------------|
|                                     | NIVO USLUG         | POVPREČNA ZAMUDA (s) | NIVO USLUG | POVPREČNA ZAMUDA (s) |             |
| <b>KRAK E</b><br>(Dunajska cesta S) |                    |                      |            |                      |             |
| Levo                                | B                  | 10,2                 | C          | 27,8                 | 17,6        |
| Naravnost                           | B                  | 16,2                 | A          | 5,7                  | 10,5        |
| <b>Celoten krak</b>                 | <b>B</b>           | <b>15,1</b>          | <b>A</b>   | <b>9,7</b>           | <b>5,4</b>  |
| <b>KRAK C</b><br>(Dunajska cesta J) |                    |                      |            |                      |             |
| Naravnost                           | D                  | 35,5                 | C          | 20,8                 | 14,7        |
| Desno                               | B                  | 10,1                 | /          | /                    | /           |
| <b>Celoten krak</b>                 | <b>C</b>           | <b>24,8</b>          | <b>C</b>   | <b>20,8</b>          | <b>4,0</b>  |

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 21

| KRAK D<br>(priklj. Bežigrad) | NIVO<br>USLUG | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | NIVO<br>USLUG | POVPREČNA<br>ZAMUDA (s) | RAZLIKA (s)           |
|------------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| Levo                         | D             | 44,4                    | D             | 48,5                    | 4,1                   |
| Naravnost                    | D             | 37,4                    | D             | 48,5                    | 11,1                  |
| Desno                        | F             | 410,5                   | /             | /                       | /                     |
| <b>Celoten krak</b>          | <b>F</b>      | <b>240,6</b>            | <b>D</b>      | <b>48,5</b>             | <b>ni primerljivo</b> |

Povprečna zamuda se na obeh krakih Dunajske ceste razlikuje največ za 17,6 sekund pri levih zavijalcih kraka E, približno deset sekund pa je časovna razlika pri vožnji naravnost. Na kraku C znaša razlika 14,7 sekund pri vožnji naravnost, za kanalizirane desne zavijalce program Vistro ne izračuna zamud, tako da v tem primeru rezultatov ni mogoče primerjati. Nivoji uslug so na obeh krakih enaki, čeprav se po posameznih voznih pasov ne ujemajo.

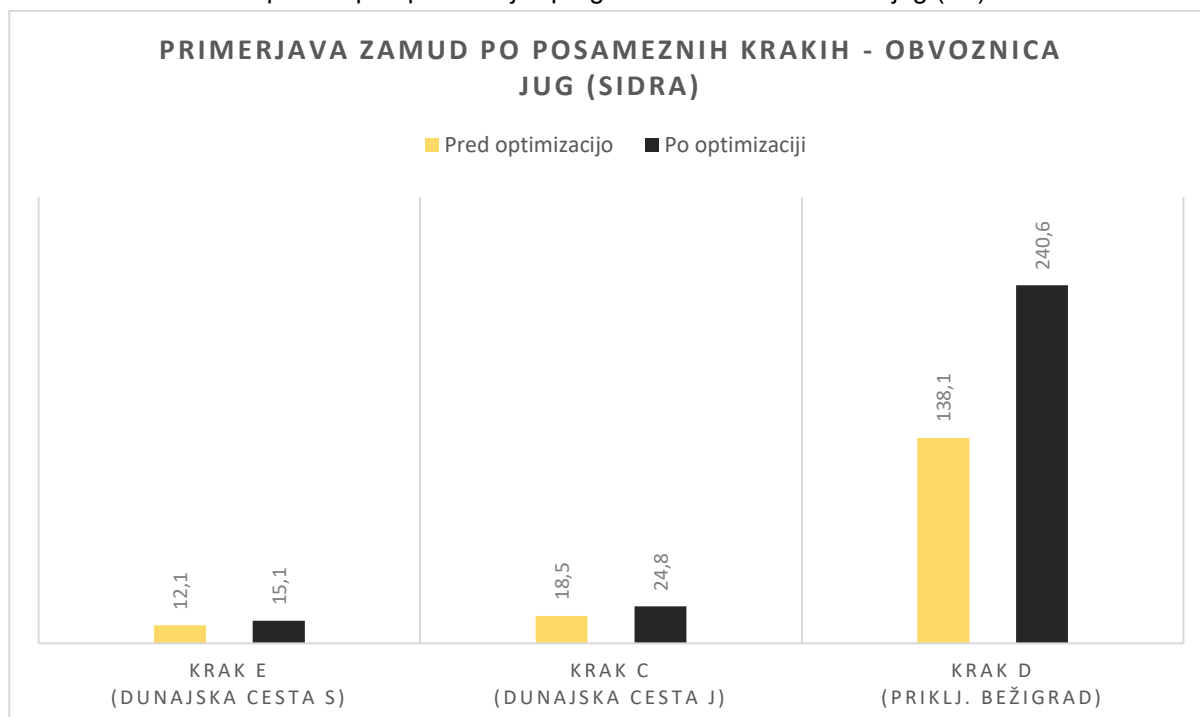
Na kraku D znaša razlika za vožnjo levo 4,1 sekund in za naravnost 11,1 sekund, za kanalizirane desne zavijalce se v programu Sidra te optimizirane zamude občutno povečajo, program Vistro pa teh rezultatov ne izračuna. To poslabša časovne zamude in razliko med obema programoma na tem kraku, kar vpliva tudi na nivo uslug.

### Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji

Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji za južno križišče v obeh programskih orodjih, je prikazana s pomočjo Grafikona 16 in Grafikona 17.

- Program Sidra Intersection

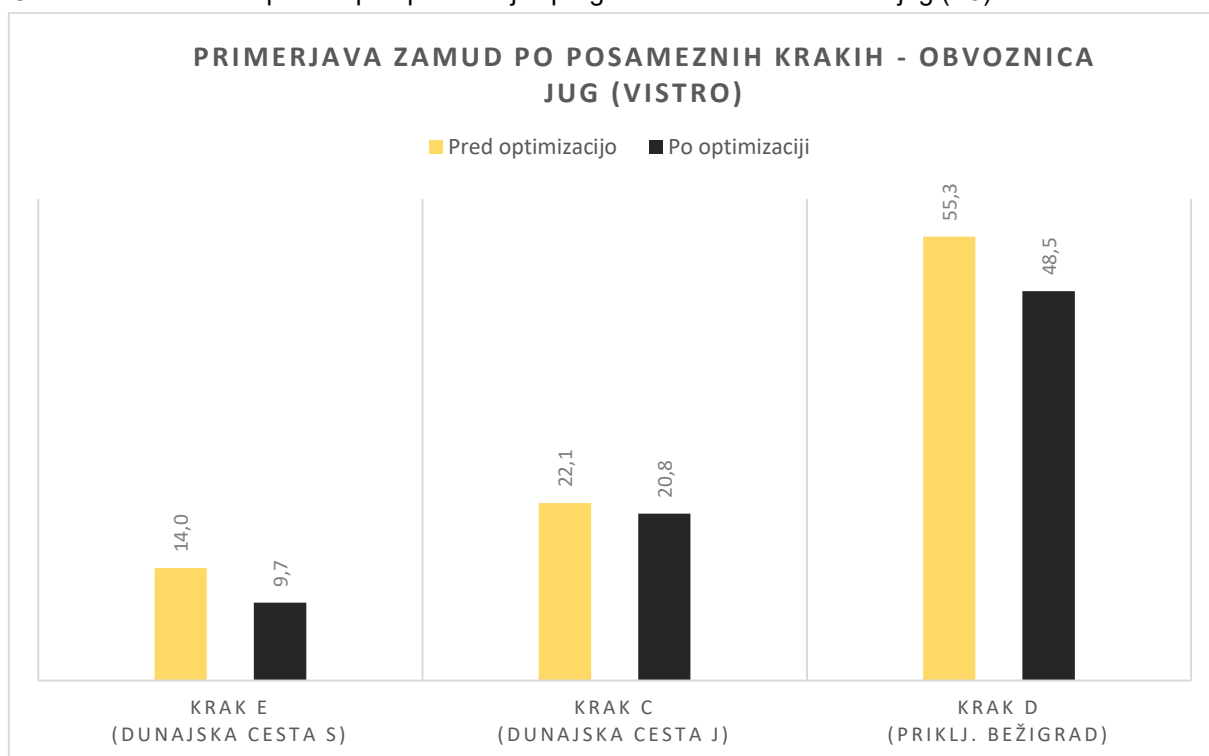
Grafikon 16: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – obvoznica jug (B5)



V programu Sidra južno križišče z obvoznico predstavlja prvi primer, pri katerem so na nivoju posameznih krakov po optimizaciji rezultati slabši kot pred optimizacijo. Razčlenitev po vozniških pasovih pokaže, da se v štirih primerih zamude zmanjšajo, v dveh primerih pa se povečajo. V primeru kraka D se skupna zamuda še poveča zaradi podaljšanja čakalnega časa kanaliziranih desnih zavijalcev, ki jih pa program Vistro ne upošteva. Nivoja uslug na krakih Dunajske ceste ostajata enaka.

- Program PTV Vistro

Grafikon 17: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – obvoznica jug (B5)

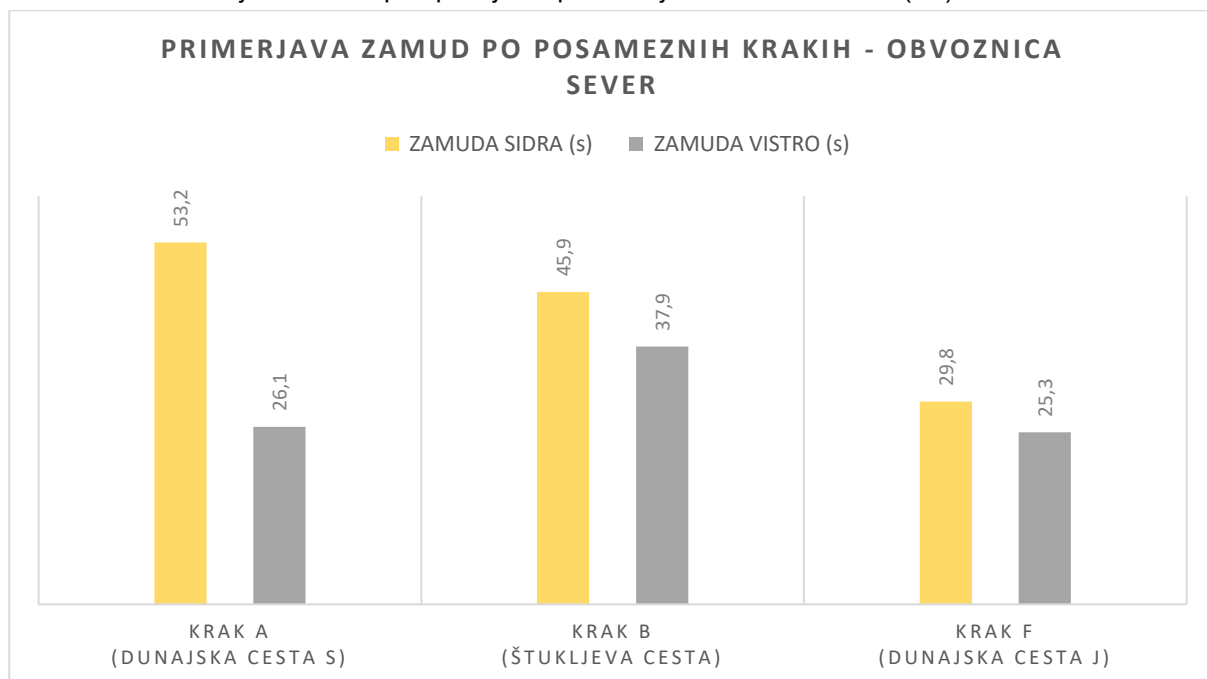


V programu Vistro izboljšavo situacije zasledimo prav na vseh krakih križišča, saj se stanje izboljša od 1,3 sekunde pa vse do 6,8 sekunde. Kot že omenjeno, je vsaka primerjava s programom Sidra na kraku D nesmiselna, saj so čakalni časi zaradi neupoštevanja kanaliziranih desnih zavijalcev popolnoma drugačni.

## 10.5 Optimizacija krmilnega programa na križišču – obvoznica sever (B5)

Rezultati optimizacije časovnih zamud po posameznih krakih na zadnjem križišču v zaporedju obravnavanih križišč (severno križišče z obvoznico) so prikazani s pomočjo Grafikona 18.

Grafikon 18: Primerjava zamud po opravljeni optimizaciji – obvoznica sever (B5)



Da se programa razlikujeta v načinu optimizacije časovnih zamud, se pokaže na kraku A, pri katerem lahko opazimo skoraj 27 sekundno razliko, temu primerno se razlikujeta tudi nivoja uslug. Rezultati na kraku B in kraku F se le malo razlikujejo (razliki sta 8,0 in 4,5 sekund), enako je seveda tudi z nivoji uslug (nivo D in nivo C). Podrobnejše razlike po posameznih voznih pasovih so prikazane v Preglednici 22.

Preglednica 22: Rezultati optimizacije – križišče obvoznica sever (B5)

|                                            | SIDRA INTERSECTION          |                                       | PTV VISTRO                  |                                       |                    |
|--------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| <b>KRAK A</b><br><b>(Dunajska cesta S)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Naravnost<br>Desno                         | E                           | 61,1                                  | C                           | 26,1                                  | 35,0               |
|                                            | B                           | 19,8                                  | /                           | /                                     | /                  |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>D</b>                    | <b>53,2</b>                           | <b>C</b>                    | <b>26,1</b>                           | <b>27,1</b>        |
| <b>KRAK B</b><br><b>(Štukljeva cesta)</b>  | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo<br>Naravnost<br>Desno                 | E                           | 55,3                                  | D                           | 38,3                                  | 17,0               |
|                                            | C                           | 32,4                                  | D                           | 40,8                                  | 8,4                |
|                                            | C                           | 33,0                                  | C                           | 28,1                                  | 4,9                |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>D</b>                    | <b>45,9</b>                           | <b>D</b>                    | <b>37,9</b>                           | <b>8,0</b>         |
| <b>KRAK F</b><br><b>(Dunajska cesta J)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>NIVO</b><br><b>USLUG</b> | <b>POVPREČNA</b><br><b>ZAMUDA (s)</b> | <b>RAZLIKA (s)</b> |
| Levo<br>Naravnost                          | D                           | 43,1                                  | D                           | 52,0                                  | 8,9                |
|                                            | C                           | 20,5                                  | A                           | 7,7                                   | 12,8               |
| <b>Celoten krak</b>                        | <b>C</b>                    | <b>29,8</b>                           | <b>C</b>                    | <b>25,3</b>                           | <b>4,5</b>         |

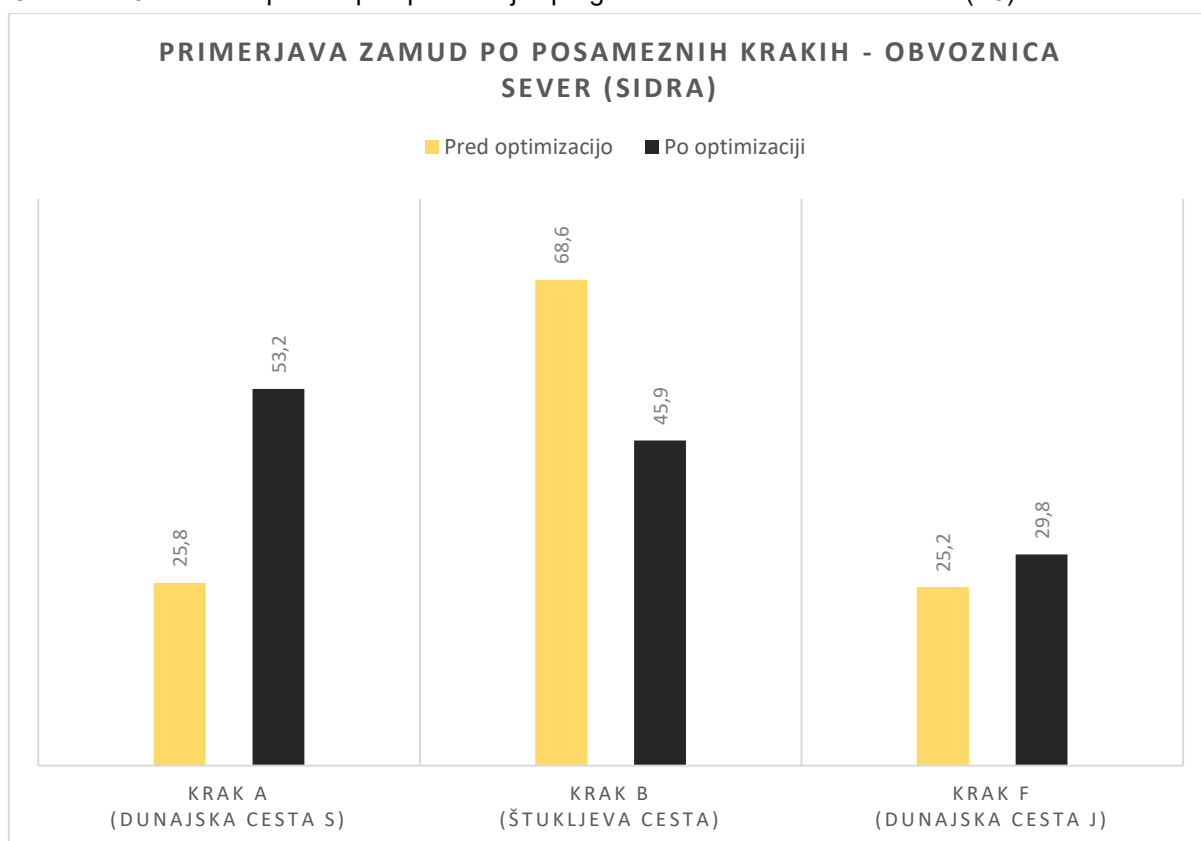
Po opravljeni optimizaciji celotne mreže križišč je na kraku A razlika 35,0 sekund za vožnjo naravnost, za desne kanalizirane zavijalce pa program Vistro tudi v tem primeru ne poda rezultata. Pri vožnji naravnost se nivoja uslug razlikujeta za dva razreda. Na kraku B je razlika pri vožnji naravnost (8,4 s) in desno (4,9 s) relativno majhna, pri vožnji naravnost pa je razlika 17 sekund. Na kraku F se časovne razlike gibljejo med 8,9 in 12,8 sekundami. Nivoji uslug se praktično na vseh voznih pasovih razlikujejo (le na dveh voznih pasovih se ujemajo).

### Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji

Primerjava rezultatov pred in po optimizaciji za južno križišče v obeh programskih orodjih je prikazana s pomočjo spodnjih dveh grafikonov.

- Program Sidra Intersection

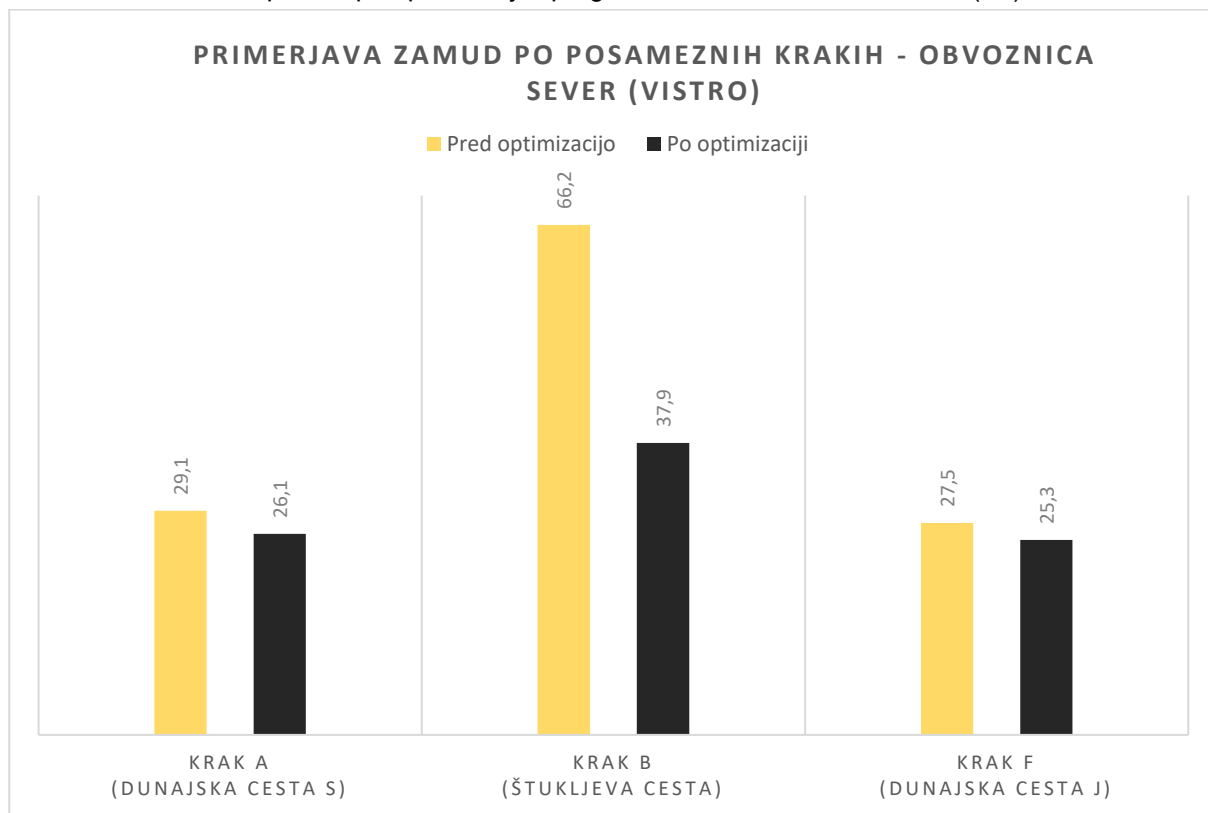
Grafikon 19: Zamude pred in po optimizaciji v programu Sidra – obvoznica sever (B5)



Na kraku A se zamude precej povečajo (za 27,4 sekund), na račun teh časovnih zamud pa se te občutno zmanjšajo na kraku B, ki predstavlja glavni dotok vozil na Dunajsko cesto v tem križišču. Razlika po optimizaciji znaša 22,7 sekund. Prav tako se spremenita nivoja uslug iz nivoja C v nivo D na kraku A in iz nivoja E v nivo D na kraku B. Spremembe na kraku F so majhne in so praktično zanemarljive.

- Program PTV Vistro

Grafikon 20: Zamude pred in po optimizaciji v programu Vistro – obvoznica sever (B5)



V programu Vistro na vseh krakih zasledimo izboljšave. Razlike na obeh krakih Dunajske ceste so relativno majhne in ne spremenijo prav veliko, se pa zato na kraku B zamuda zmanjša iz 66,2 sekund na 37,9 sekund. To se pozna tudi na nivoju uslug tega kraka, in sicer se spremeni iz nivoja E v nivo D, kar je tudi cilj optimizacije časovnih zamud križišč.

## 10.6 Primerjava programov v fazi optimizacije v obliki linijske koordinacije

Zadnja primerjava obeh programskih orodij je v fazi optimizacije celotnega omrežja križišč vzdolž Dunajske ceste. Ugotovitve o primerjavi rezultatov so naslednje:

- v programu Sidra je nov izračunani optimalni cikel 105 sekund, v programu Vistro pa 90 sekund (obstoječe stanje 100 sekund);
- v splošnem so doseženi optimizirani rezultati v obeh programskih orodjih boljši kot pa v obstoječem stanju;
- na nekaterih stranskih cestah se optimizirani rezultati za nekaj sekund poslabšajo, a se na račun tega zmanjšajo zamude v glavni prometni smeri (na Dunajski cesti);
- rezultati na obeh križiščih z mestno obvoznico se razlikujejo ker program Vistro ne upošteva zamud kanaliziranih desnih zavijalcev;
- po opravljeni optimizaciji se povprečne časovne zamude v obeh programskih orodjih razlikujejo manj, kot v obstoječem stanju.

## 11 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

V sklopu magistrske naloge je bila izvedena analiza kapacitete in prepustnosti križišč, pri kateri smo dobili rezultate o povprečnih zamudah in doseženih nivojih uslug po posameznih vozniških pasovih ter na celotnih krakih. V zadnjem sklopu pa smo opravili tudi optimizacijo petih križišč v smislu linijske koordinacije. Opravljena analiza nam je podala rezultate o primerjavi obeh programskih orodij, kar je bil tudi cilj te naloge.

Prva uporaba programskih orodij nam da splošni vtis o obeh programih. Program Sidra Intersection na prvi pogled deluje malce starejše in malo bolj okorno. Izgled je preprost in za podlogo nima zemljevida, ki bi služil za pomoč pri tvorjenju cestne mreže. S pritiskom na določene ukaze se vedno odpre novo okno, ki je malce v napoto in nam povzroča dodatno klikanje ter izgubo časa.

Program PTV Vistro na prvi pogled deluje modernejše, privlačneje. Za podlogo nam služi zemljevid sveta, ki nam olajša kreiranje mreže križišč. Na zaslonu imamo tudi podokno, kjer imamo prikazan posamezen ukaz (npr. tabela za vpis podatkov). Tako lahko hkrati izbiramo križišče in pregledujemo ali vpisujemo podatke. S tega vidika je program Vistro naprednejši in uporabnika bolj pritegne k uporabi.

Nato je sledila primerjava v fazi izdelave prometnega modela. Kreiranje mreže križišč je v programu Vistro dokaj enostavna, saj deluje na principu node-link metode, v pomoč za kreiranje mreže pa je tudi podloga zemljevida, ki je v programu Sidra ni, križišča pa v tem programu lahko kreiramo le posamezno.

V obeh programih je bil vnos podatkov dokaj podoben in enostaven, saj se podatki vnašajo v tabele za posamezna križišča. Edina razlika glede vnosa podatkov je bila pri vnašanju podatkov o krmilnih programih. V programu Sidra je bilo najprej potrebno posebej določiti faze, nato pa v tabeli vnesti posamezne čase. V programu Vistro pa se vnos podatkov vnese grafično, s klikom in potegom pa lahko določimo ustrezen efektivni zeleni čas v posameznih fazah. Pri izdelavi prometnega modela je torej program Vistro veliko bolj praktičen in enostaven za uporabo.

V fazi analize obstoječega stanja smo ugotovili, da se v glavnem vse povprečne časovne zamude in vsi nivoji uslug slabši v programu Vistro, da se rezultati večinoma po vseh križiščih ujemajo, z izjemo nekaterih krakov križišč (na obeh križiščih z mestno obvoznico se rezultati razlikujejo zaradi tega, ker program Vistro ne upošteva zamud kanaliziranih desni zavijalcev). Ugotovili smo, da ne moremo priti do zaključka kateri program je bolj natančen, ker nimamo podatka o dejanskih časovnih zamudah.

V zadnjem sklopu – optimizaciji celotne mreže križišč – smo ugotovili, da je v programu Sidra nov izračunani optimalni cikel 105 sekund, v programu Vistro pa 90 sekund (obstoječe stanje je 100 sekund) in da se v splošnem doseženi optimizirani rezultati med obema programoma manj razlikujejo, kot pa v obstoječem stanju.

Na nekaterih stranskih cestah se optimizirani rezultati za nekaj sekund poslabšajo, a se na račun tega zmanjšajo zamude v glavni prometni smeri (na Dunajski cesti). Po opravljeni optimizaciji se povprečne časovne zamude v obeh programskih orodjih manj razlikujejo, kot v obstoječem stanju. Z vidika optimizacije je programsko orodje Vistro bolj učinkovito, saj so optimizirane zamude po posameznih voznih pasovih bolj enakomerno razporejene kot v programu Sidra.

Če povzamemo, je analiza pokazala, da je v vseh fazah bolj primerna oziroma učinkovita uporaba programskega orodja Vistro. Menimo da je to delno tudi subjektivna ocena, saj mogoče nekaterim uporabnikom bolj leži in bolje izgleda program Sidra. Uporaba je tako odvisna od posameznika in njegovih izkušenj. Pri uporabi takšnih programskih orodij je seveda pomembno, da je posameznik strokovno podkovan, da razume metodologijo, ki se skriva za temi programskimi orodji, in da zna rezultate pravilno ovrednotiti ter razumeti.

## 12 VIRI

- [1] Akcelik, R. 2015. Development of Network Signal Timing Methodology in SIDRA INTERSECTION. Presentation at the New Zealand Modelling Use Group Conference (NZMUGS 2015).
- [2] Akcelik & Associates PTY LTD. 2022. Sidra Solutions  
<https://support.sidrasolutions.com/support/home> (Pridobljeno 10.7.2022)
- [3] Amzs. 2017. Izogibanje zastojem z uravnavanjem hitrosti.  
<https://www.amzs.si/motorevija/mobilnost/promet/2017-04-25-izogibanje-zastojem-z-uravnavanjem-hitrosti> (Pridobljeno 30.5.2022.)
- [4] Bhuyan, P. 2013. A Review on Level of Service Analysis of Urban Streets. National Institute of Technology Rourkela.  
[https://www.researchgate.net/publication/262868102\\_A\\_Review\\_on\\_Level\\_of\\_Service\\_Analysis\\_of\\_Urban\\_Streets](https://www.researchgate.net/publication/262868102_A_Review_on_Level_of_Service_Analysis_of_Urban_Streets) (Pridobljeno 18.6.2022)
- [5] Goodchild, A., McCormack, E., Wang, Z. 2016. A methodology for forecasting freeway travel time reliability using GPS data. University of Washington Seattle  
[https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-Level-of-Service-for-Freeway-Segment-Highway-Capacity-Manual-2010\\_fig1\\_317422963](https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-Level-of-Service-for-Freeway-Segment-Highway-Capacity-Manual-2010_fig1_317422963) (Pridobljeno 1.6.2022)
- [6] Highway Capacity Manual. 2000. Washington, Transportation Research Board.  
[https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacity\\_manual.pdf](https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacity_manual.pdf)  
(Pridobljeno 5. 5. 2022.)
- [7] Klobčar, G. 2019. Prometna analiza območja Novi trg v Kamniku. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Klobčar).
- [8] Krishna, R., Othayoth, D. 2019. Investigating the Relation between Level of Service and Volume-to- Capacity ratio at Signalized Intersections under Heterogeneous Traffic Condition. Department of Civil Engineering, Mumbai.
- [9] Maher, T. 2015. Inteligentni transportni sistemi in storitve. Učno gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- [10] Maher, T. 2015. Teorija prometnega toka in analiza kapacitivnosti. Učno gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

- [11] Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS, št. 91/2005 in 26/2006.  
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5811> (Pridobljeno 19. 5. 2022.)
- [12] PTV Vistro User Manual. 2022. Karlsruhe, PTV AG.
- [13] Rihar, M. 2014. Primerjava sodobnih programskih orodij za modeliranje križišč na primeru križišča v Ljubljani. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Rihar).
- [14] Sidra Intersection 9 User Guide. 2020. Akcelik & Associates PTY LTD.
- [15] Vodopivec, R. 2014. Primerjava programske opreme Synchro in Vistro za analizo uspešnosti servisiranja prometnih zahtev na primeru križišč vzdolž Tržaške ceste v Ljubljani. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Vodopivec)
- [16] Yulianto, B. 2018 Analysis of signalized intersection performance using IHCM 1997 method and PTV Vistro software. Universitas Sebelas Maret  
[https://www.researchgate.net/publication/327157498\\_Analysis\\_of\\_signalized\\_intersection\\_performance\\_using\\_IHCM\\_1997\\_method\\_and\\_PTV\\_Vistro\\_software](https://www.researchgate.net/publication/327157498_Analysis_of_signalized_intersection_performance_using_IHCM_1997_method_and_PTV_Vistro_software)  
(Pridobljeno 5.7.2022)
- [17] Zakon o cestah. Uradni list RS, št. 109/2010, 48/2012 in 36/2014.  
<https://www.uradni-list.si/1/content?id=101701> (Pridobljeno 2. 6. 2022.)

## SEZNAM PRILOG

### **PRILOGA A: KRMILNI PROGRAMI SEMAFORJEV KRIŽIŠČ**

|              |                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| Priloga A.1: | Krmilni program na križišču Dimičeva ulica (B3)     |
| Priloga A.2: | Krmilni program na križišču Baragova ulica (B4)     |
| Priloga A.3: | Krmilni program na križišču Kadilnikova ulica (B25) |
| Priloga A.4: | Krmilni program na križišču z MOC (B5)              |

### **PRILOGA B: ŠTEVNI PODATKI O PROMETNIH OBREMENITVAH**

|              |                                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------|
| Priloga B.1: | Prometne obremenitve na križišču Dimičeva ulica (B3)     |
| Priloga B.2: | Prometne obremenitve na križišču Baragova ulica (B4)     |
| Priloga B.3: | Prometne obremenitve na križišču Kadilnikova ulica (B25) |
| Priloga B.4: | Prometne obremenitve na križišču z MOC – jug (B5)        |
| Priloga B.5: | Prometne obremenitve na križišču z MOC – sever (B5)      |

### **PRILOGA C: ANALIZA V OBSTOJEČEM STANJU**

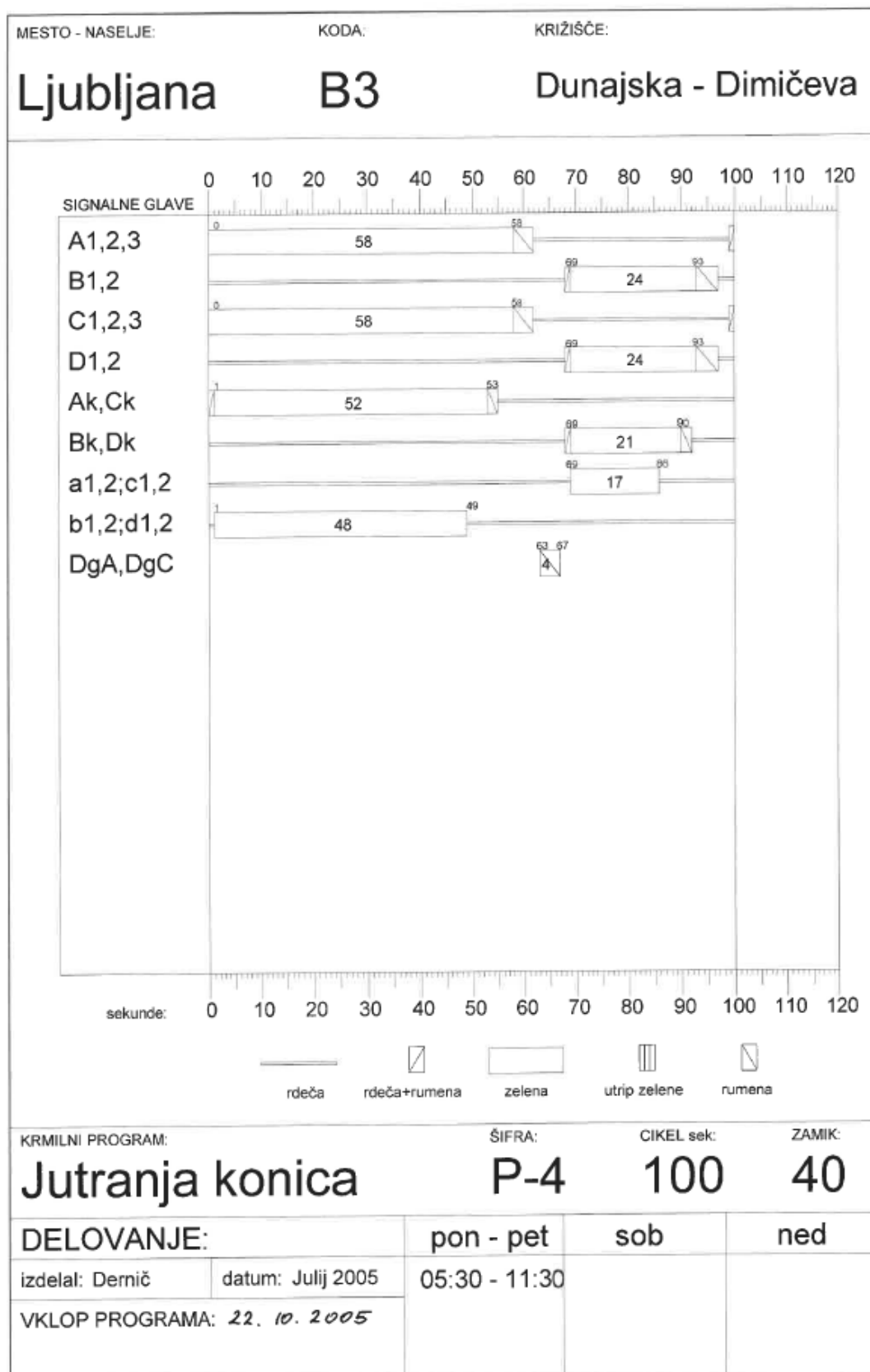
|              |                                                        |
|--------------|--------------------------------------------------------|
| Priloga C.1: | Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Sidra      |
| Priloga C.2: | Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Sidra      |
| Priloga C.3: | Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Sidra  |
| Priloga C.4: | Rezultati na križišču z MOC – jug (B5) – Sidra         |
| Priloga C.5: | Rezultati na križišču z MOC – sever (B5) – Sidra       |
| Priloga C.6: | Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Vistro     |
| Priloga C.7: | Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Vistro     |
| Priloga C.8: | Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Vistro |
| Priloga C.9: | Rezultati na križišču z MOC (B5) – Vistro              |

### **PRILOGA D: OPTIMIZACIJA V OBLIKI LINIJSKE KOORDINACIJE**

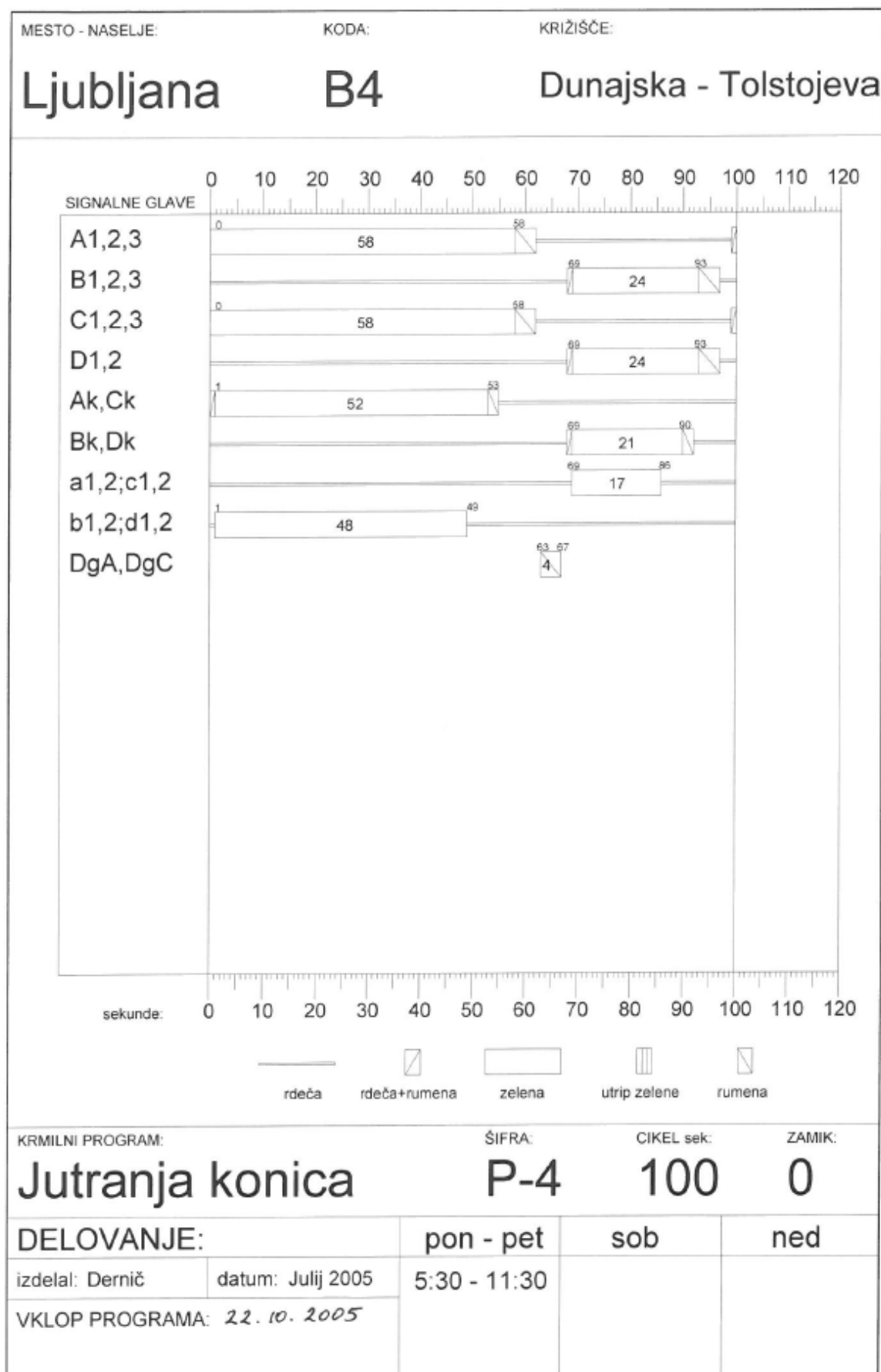
|              |                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|
| Priloga D.1: | Rezultati na križiščih Dimičeva, Baragova, Kadilnikova ulica – Sidra |
| Priloga D.2: | Rezultati na križišču z mestno obvoznico (B5) – Sidra                |
| Priloga D.3: | Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Vistro                   |
| Priloga D.4: | Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Vistro                   |
| Priloga D.5: | Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Vistro               |
| Priloga D.6: | Rezultati na križišču z MOC (B5) – Vistro                            |

## PRILOGA A: KRMILNI PROGRAMI SEMAFORJEV KRIŽIŠČ

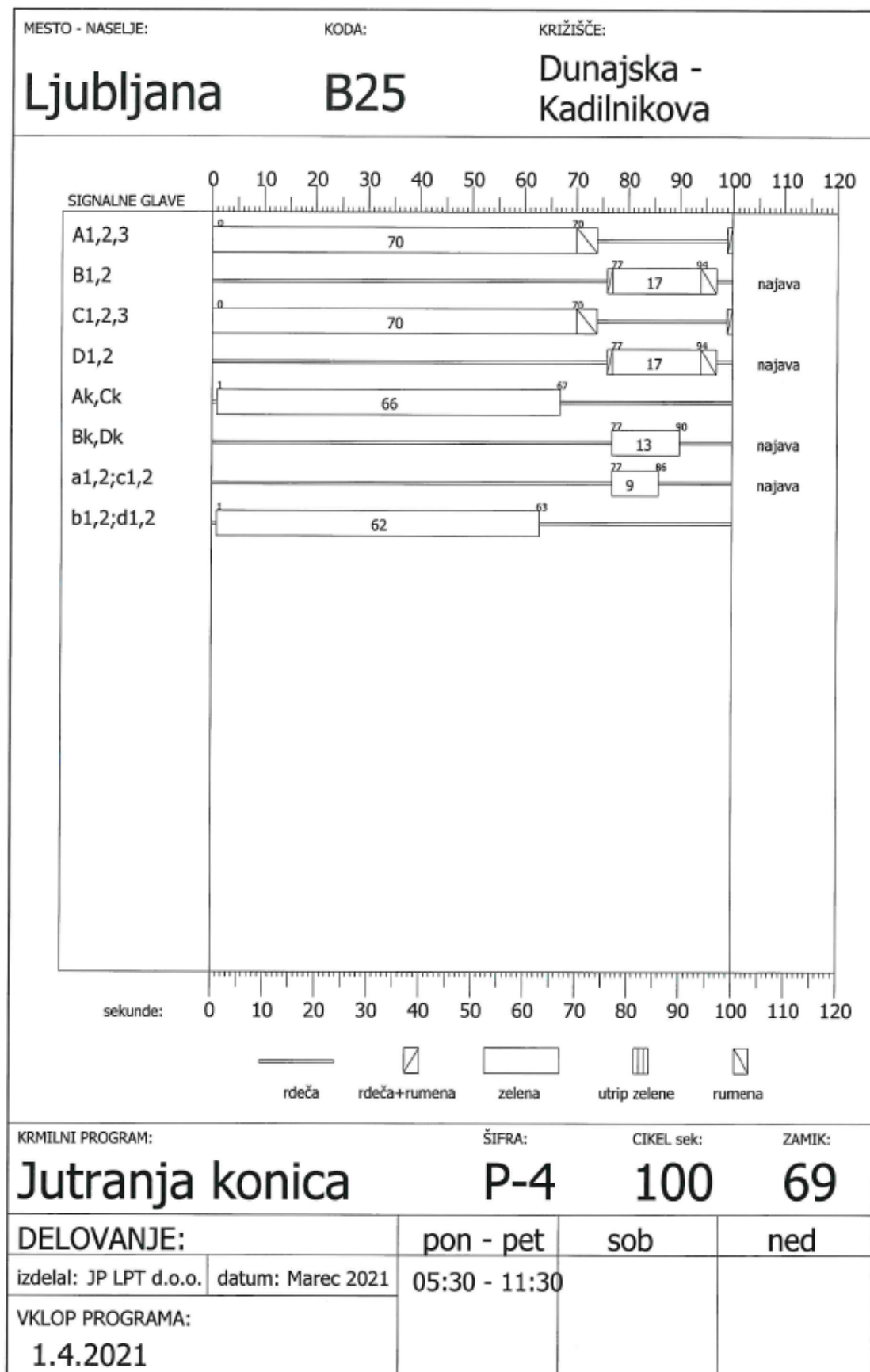
### Priloga A.1: Krmilni program na križišču Dimičeva ulica (B3)



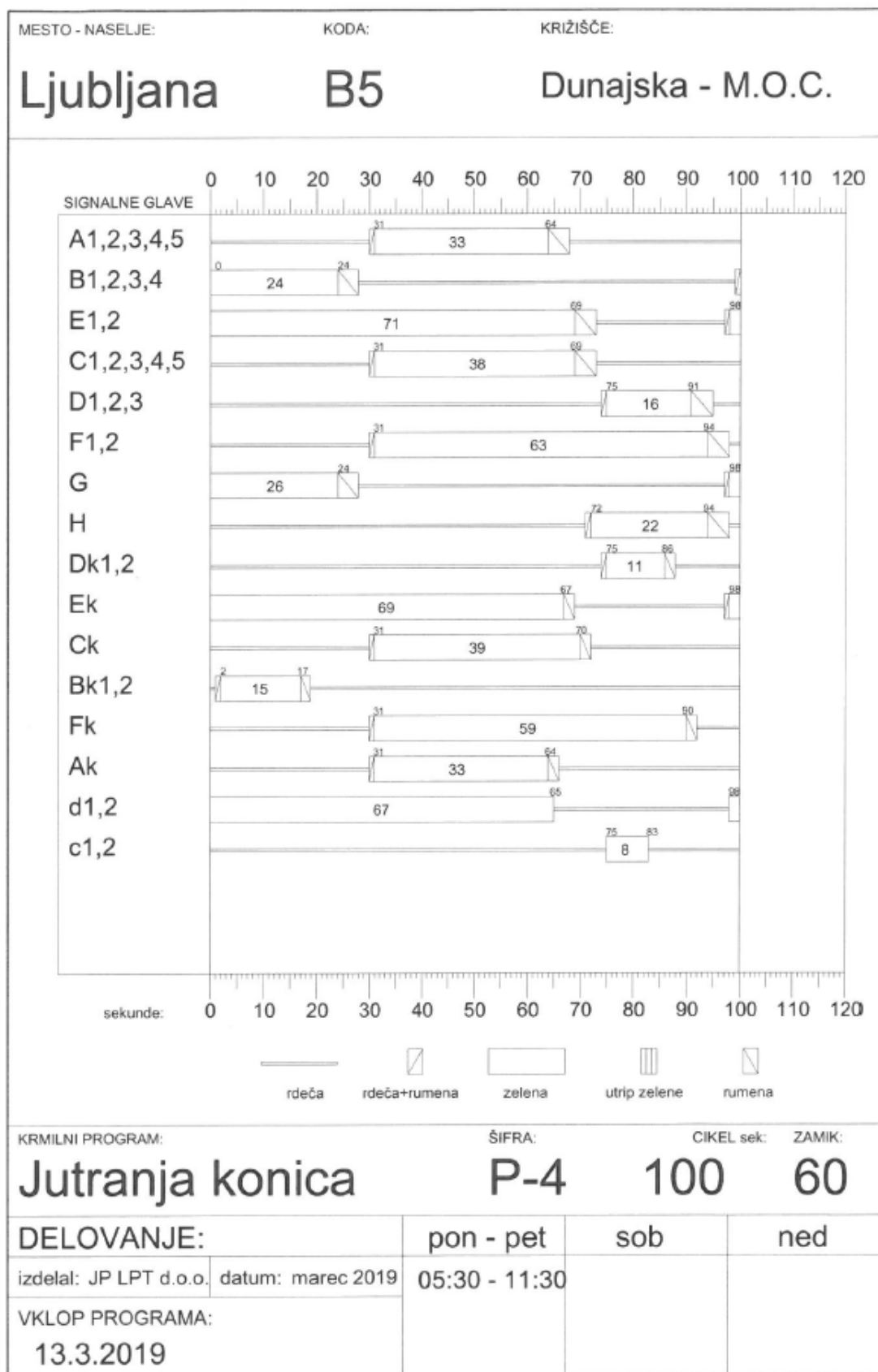
Priloga A.2: Krmilni program na križišču Baragova ulica (B4)



Priloga A.3: Krmilni program na križišču Kadilnikova ulica (B25)



Priloga A.4: Krmilni program na križišču z MOC (B5)



## PRILOGA B: ŠTEVNI PODATKI O PROMETNIH OBREMENITVAH

### Priloga B.1: Prometne obremenitve na križišču Dimičeva ulica (B3)

#### Dunajska-Dimiceva 18 - TMC

Thu Nov 18, 2021

AM Peak (7:15 AM - 8:15 AM)

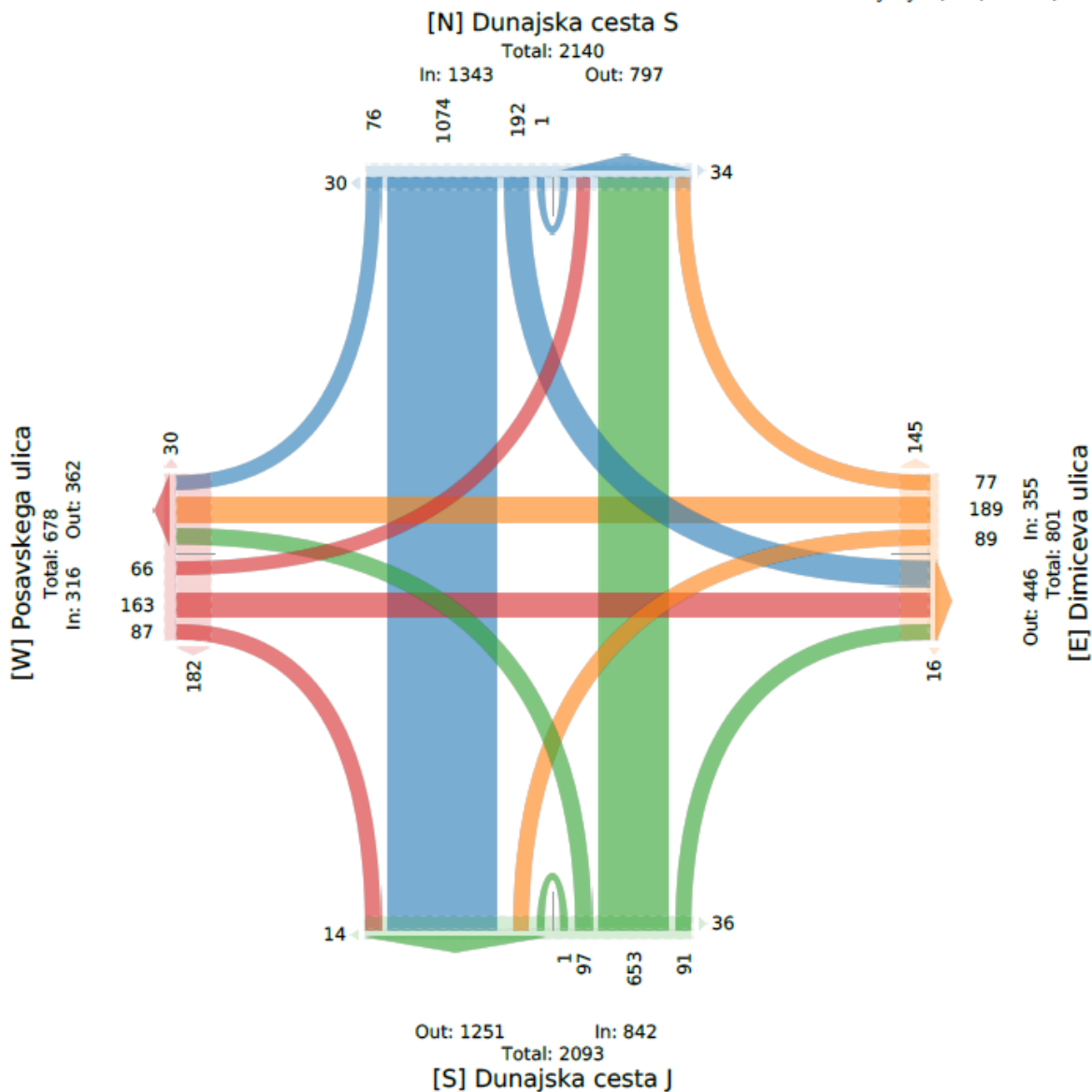
All Classes (Motorcycles, Cars, Light Goods Vehicles, Single-Unit Trucks, Articulated Trucks, Buses, Pedestrians, Bicycles on Road, Bicycles on Crosswalk)

All Movements

ID: 909558, Location: 46.071568, 14.510789, Site Code: 05



Provided by: PNZ svetovanje  
projektiranje d.o.o.  
Vojkova cesta 65,  
Ljubljana, 061, SI-1000, SI



## Priloga B.2: Prometne obremenitve na križišču Baragova ulica (B4)

### Dunajska-Baragova 18 - TMC

Thu Nov 18, 2021

AM Peak (7:15 AM - 8:15 AM)

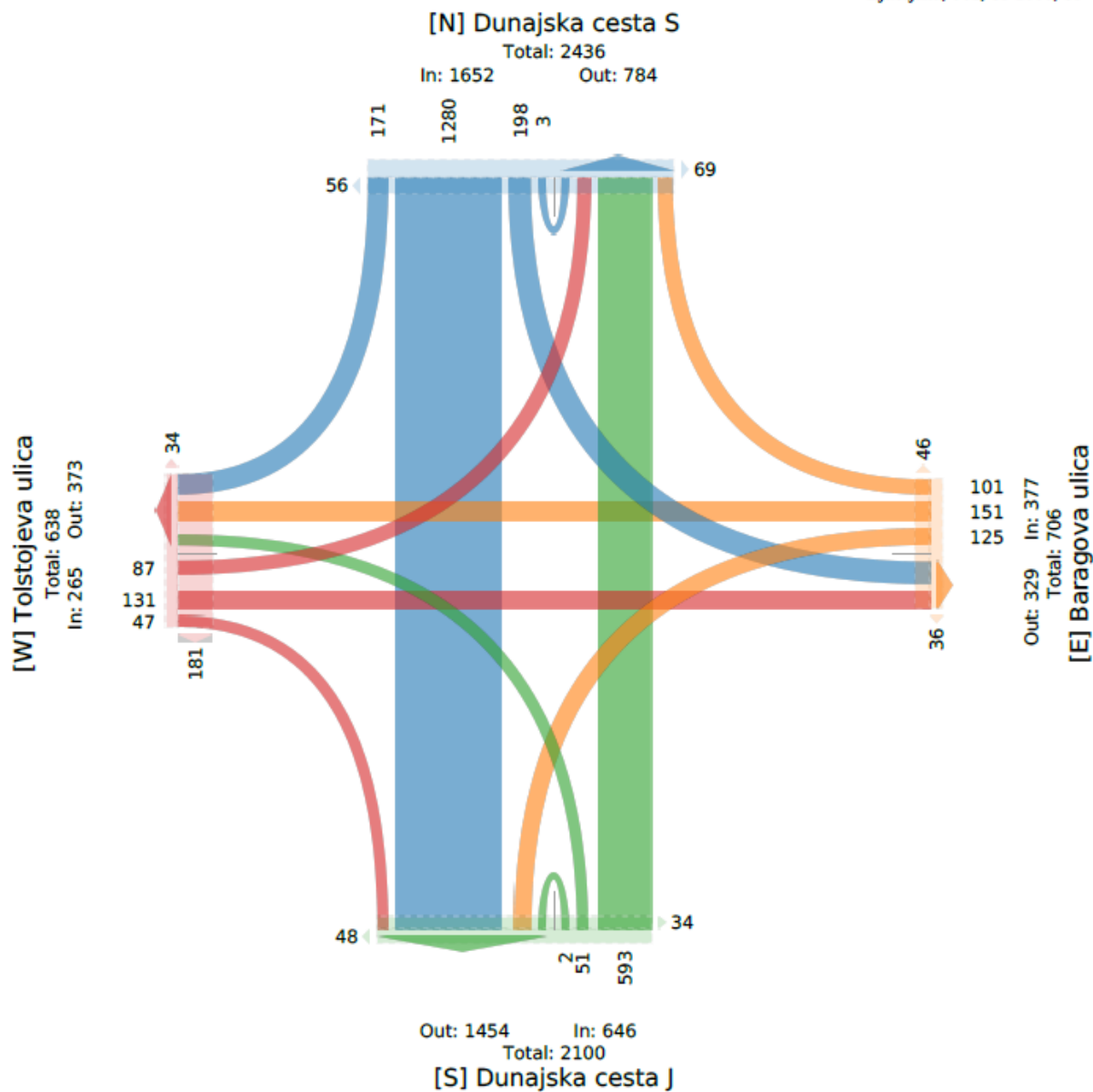
All Classes (Motorcycles, Cars, Light Goods Vehicles, Single-Unit Trucks, Articulated Trucks, Buses, Pedestrians, Bicycles on Road, Bicycles on Crosswalk)

All Movements

ID: 909548, Location: 46.076697, 14.511903, Site Code: 04



Provided by: PNZ svetovanje  
projektiranje d.o.o.  
Vojkova cesta 65,  
Ljubljana, 061, SI-1000, SI



### Priloga B.3: Prometne obremenitve na križišču Kadilnikova ulica (B25)

#### Diagram prometnih obremenitev

Šifra križišča: B25

Ime križišča: Kadilnikova

Tip križišča: ABCD

Naslov štetja: Ljubljana-Dunajska

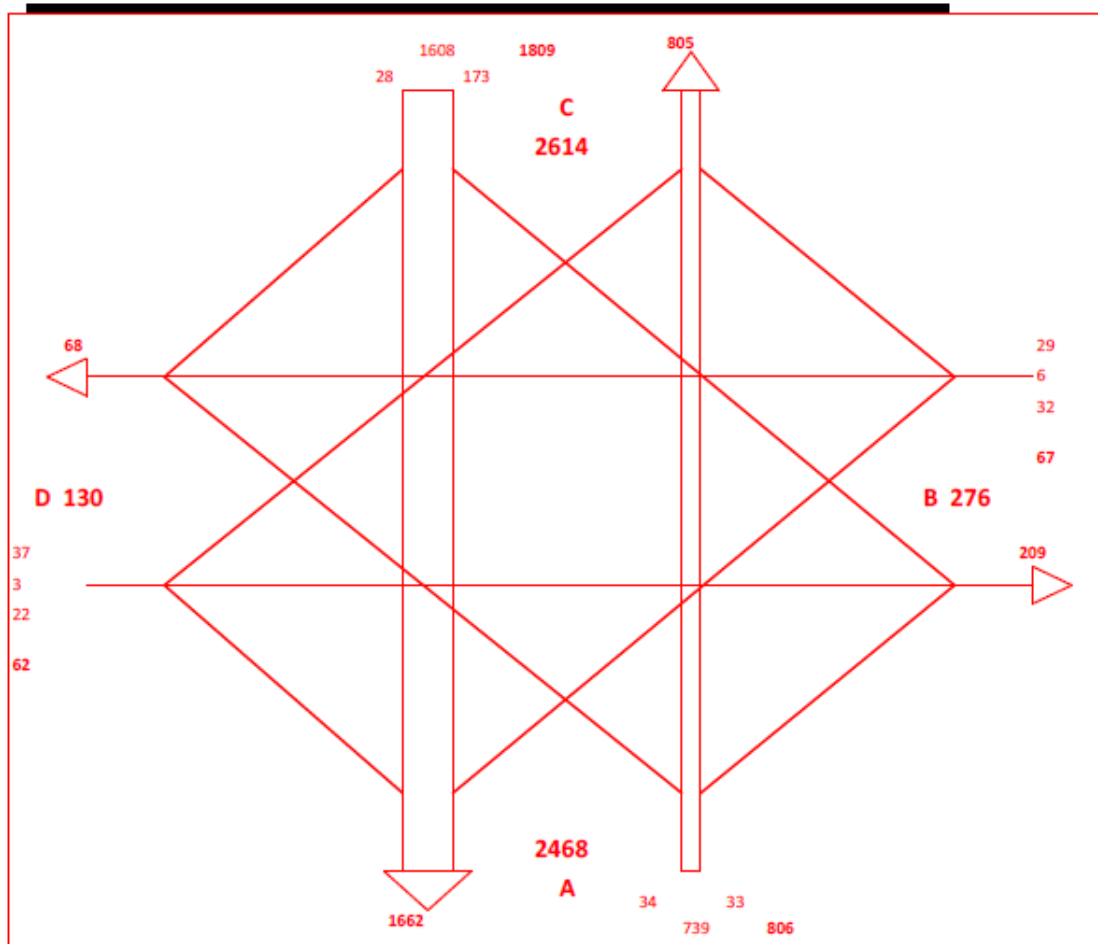
Datum štetja: 18.11.2021

Številka štetja: 1

Časovni interval: od 7:15 do 8:15

Vrsta vozil: O, B, T, V

|          |                        |
|----------|------------------------|
| <b>A</b> | Dunajska cesta - JUG   |
| <b>B</b> | Kadilnikova ulica      |
| <b>C</b> | Dunajska cesta - SEVER |
| <b>D</b> | Turnerjeva ulica       |



## Priloga B.4: Prometne obremenitve na križišču z MOC – jug (B5)

### Dunajska-obvoznica J 18 - TMC

Thu Nov 18, 2021

AM Peak (7:15 AM - 8:15 AM)

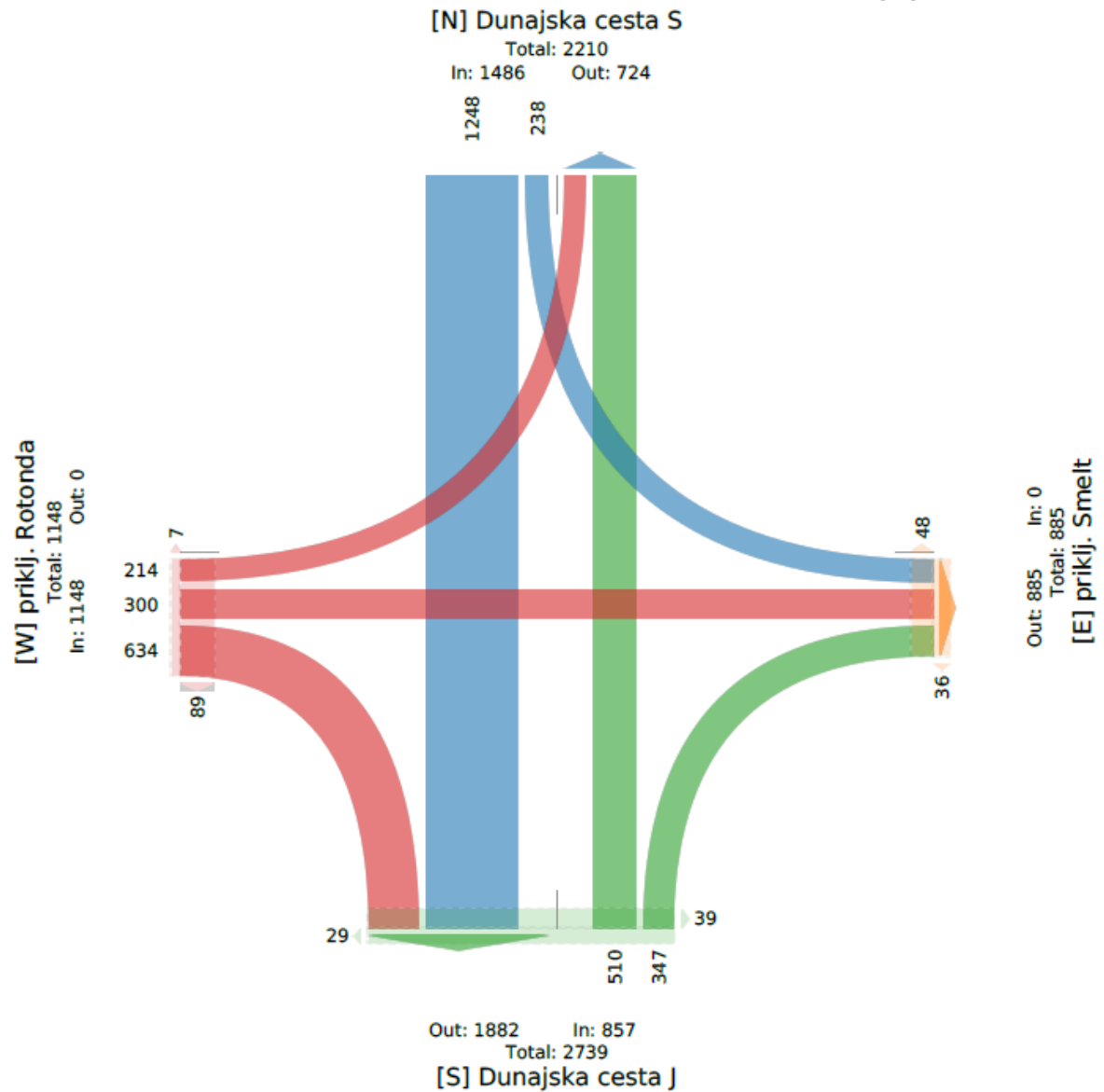
All Classes (Motorcycles, Cars, Light Goods Vehicles, Single-Unit Trucks, Articulated Trucks, Buses, Pedestrians, Bicycles on Road, Bicycles on Crosswalk)

All Movements

ID: 909540, Location: 46.083249, 14.513479, Site Code: 02



Provided by: PNZ svetovanje  
projektiranje d.o.o.  
Vojkova cesta 65,  
Ljubljana, 061, SI-1000, SI



## Priloga B.5: Prometne obremenitve na križišču z MOC – sever (B5)

### Dunajska-obvoznica S 18 - TMC

Thu Nov 18, 2021

AM Peak (7:15 AM - 8:15 AM) - Overall Peak Hour

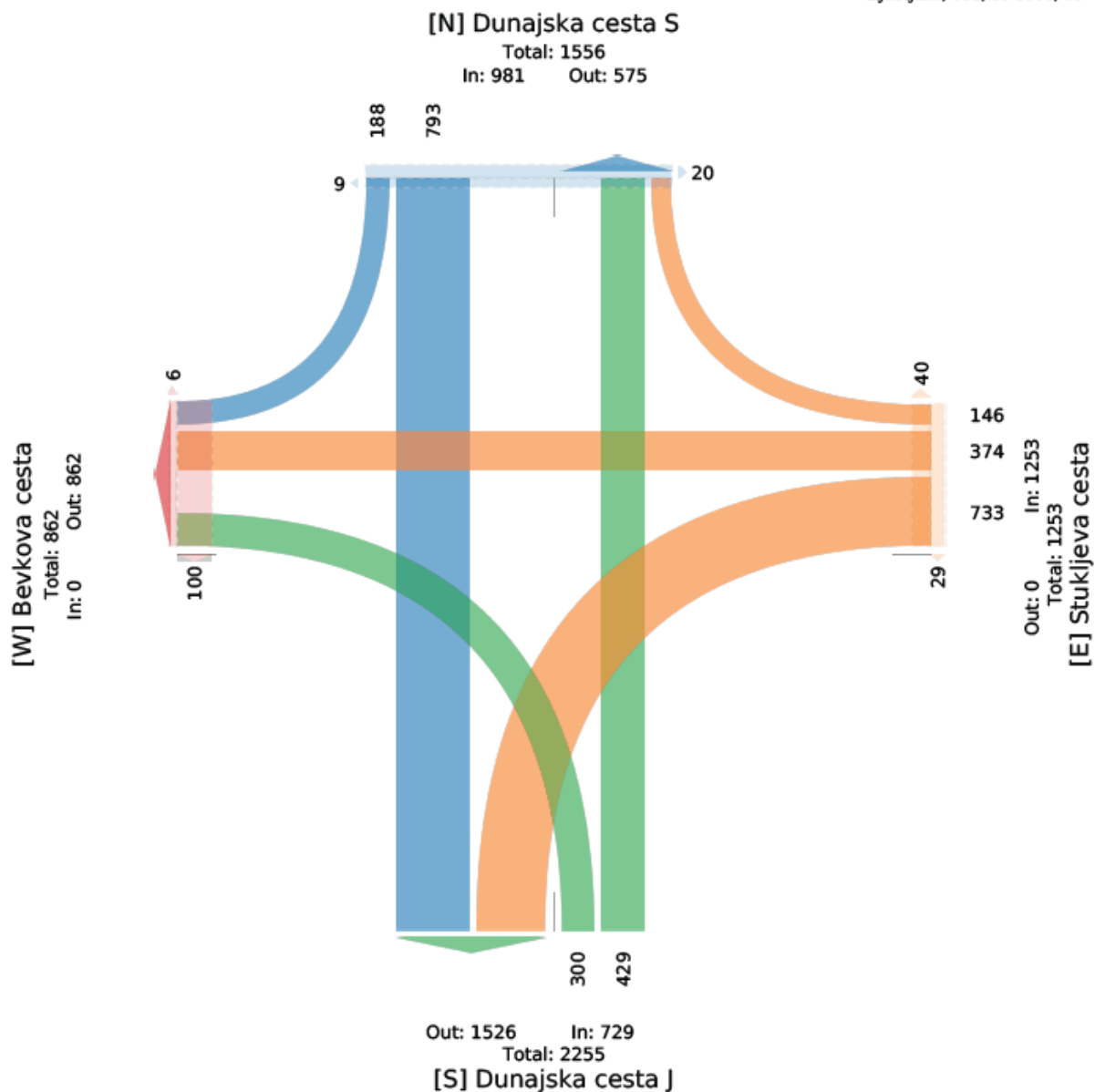
All Classes (Motorcycles, Cars, Light Goods Vehicles, Single-Unit Trucks, Articulated Trucks, Buses, Pedestrians, Bicycles on Road, Bicycles on Crosswalk)

All Movements

ID: 909545, Location: 46.083879, 14.513648, Site Code: 06



Provided by: PNZ svetovanje  
projektiranje d.o.o.  
Vojkova cesta 65,  
Ljubljana, 061, SI-1000, SI



## PRILOGA C: ANALIZA V OBSTOJEČEM STANJU

### Priloga C.1: Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Sidra

#### DELAY (CONTROL)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: B3 [B3 JK 2022 Dimiceva (Site Folder: General)]

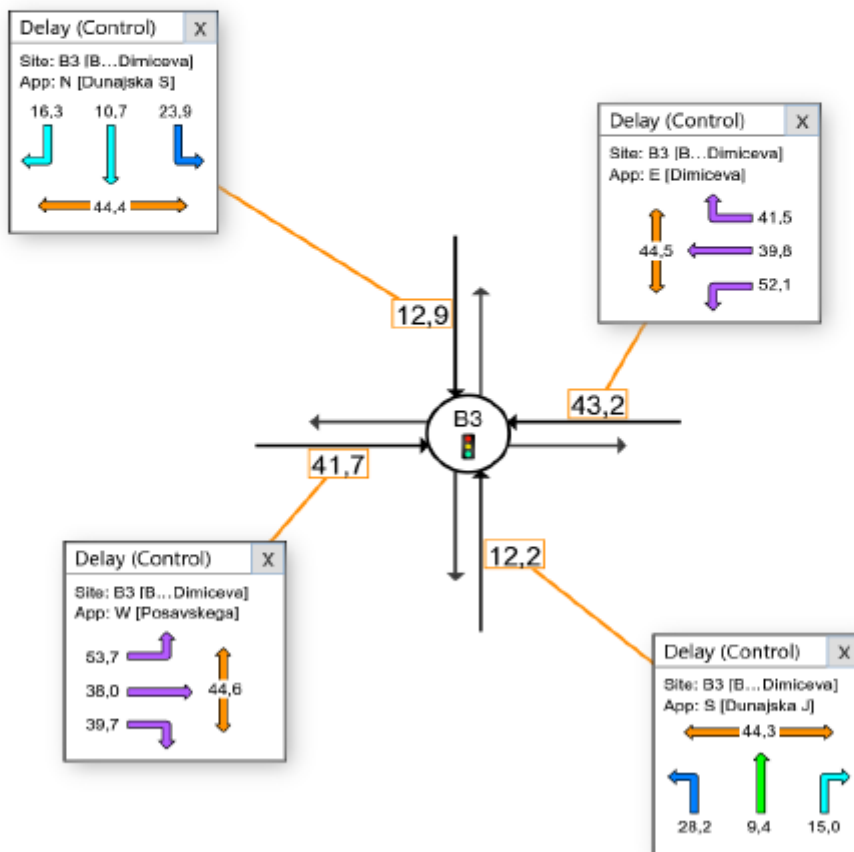
New Site

Site Category: (None)

Signals - EQUISAT (Fixed-Time/SCATS) Isolated Cycle Time = 100 seconds (Site User-Given Phase Times)

Use the button below to open or close all popup boxes. Click value labels to open selected ones.  
Click and drag popup boxes to move to preferred positions.

Close All Popups



Colour code based on Level of Service

LOS A LOS B LOS C LOS D LOS E LOS F

Site Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 6). Site LOS Method is specified in the Parameter Settings dialog (Site tab).  
LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

NA (TWSC): Level of Service is not defined for major road approaches or the intersection as a whole for Two-Way Sign Control (HCM LOS rule).

Pedestrian Level of Service Method: SIDRA Pedestrian LOS Method (Based on Average Delay)

Delay Model: SIDRA Standard (Geometric Delay is included).

## Priloga C.2: Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Sidra

### DELAY (CONTROL)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: B4 [B4 JK 2022 Baragova (Site Folder: General)]

New Site

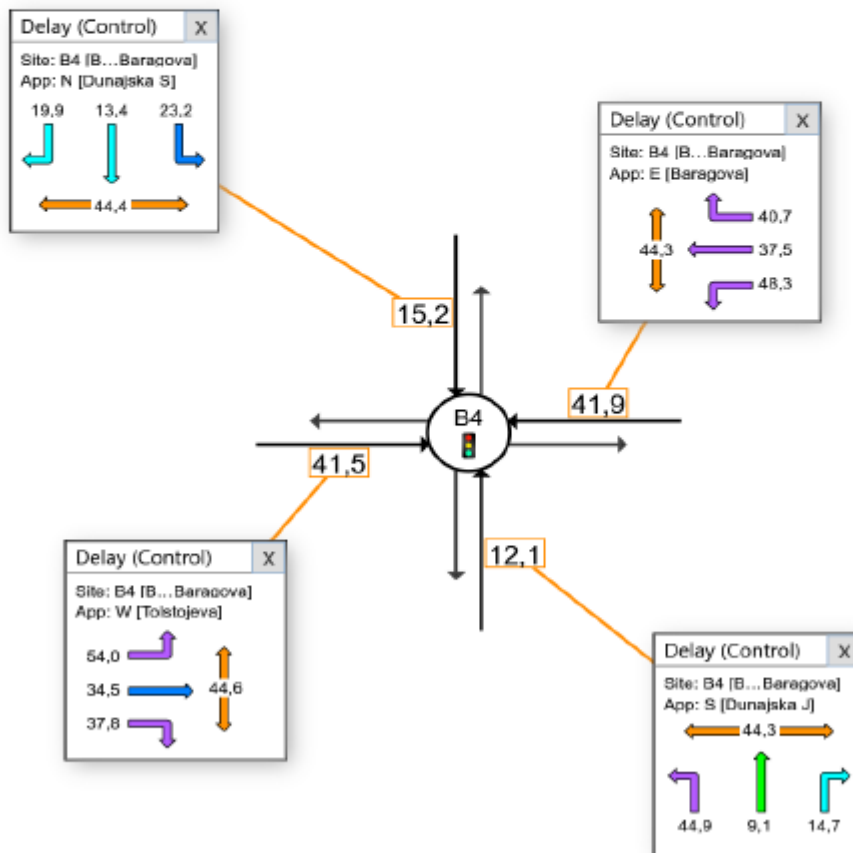
Site Category: (None)

Signals - EQUISAT (Fixed-Time/SCATS) Isolated Cycle Time = 100 seconds (Site User-Given Phase Times)

Use the button below to open or close all popup boxes. Click value labels to open selected ones.

Click and drag popup boxes to move to preferred positions.

Close All Popups



Colour code based on Level of Service



Site Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 6). Site LOS Method is specified in the Parameter Settings dialog (Site tab).

LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

NA (TWSC): Level of Service is not defined for major road approaches or the intersection as a whole for Two-Way Sign Control (HCM LOS rule).

Pedestrian Level of Service Method: SIDRA Pedestrian LOS Method (Based on Average Delay)

Delay Model: SIDRA Standard (Geometric Delay is included).

### Priloga C.3: Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Sidra

#### DELAY (CONTROL)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: B25 [B25 JK 2022 Kadilnikova (Site Folder: General)]

New Site

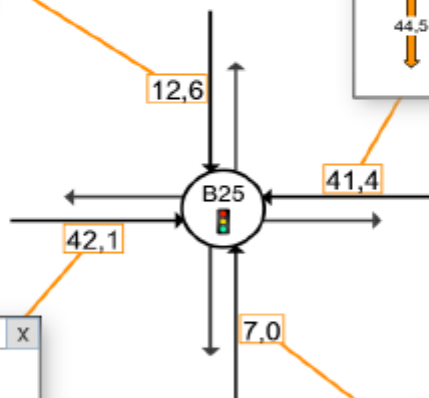
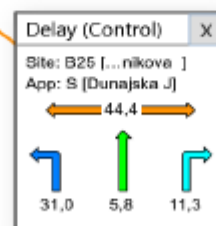
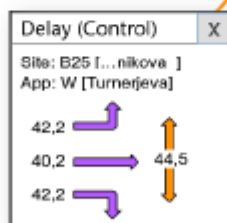
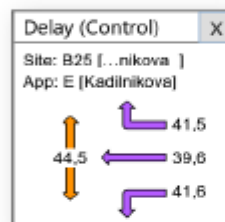
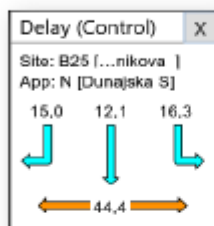
Site Category: (None)

Signals - EQUISAT (Fixed-Time/SCATS) Isolated Cycle Time = 100 seconds (Site User-Given Cycle Time)

Use the button below to open or close all popup boxes. Click value labels to open selected ones.

Click and drag popup boxes to move to preferred positions.

Close All Popups



Colour code based on Level of Service



Site Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 6). Site LOS Method is specified in the Parameter Settings dialog (Site tab).

LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

NA (TWSC): Level of Service is not defined for major road approaches or the intersection as a whole for Two-Way Sign Control (HCM LOS rule).

Pedestrian Level of Service Method: SIDRA Pedestrian LOS Method (Based on Average Delay)

Delay Model: SIDRA Standard (Geometric Delay is included).

## Priloga C.4: Rezultati na križišču z MOC – jug (B5) – Sidra

### DELAY (CONTROL)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

**Site: B5 - jug [B5 JK 2022 S1 R - Import (Site Folder: General)]**

Wide-Median Intersection Site

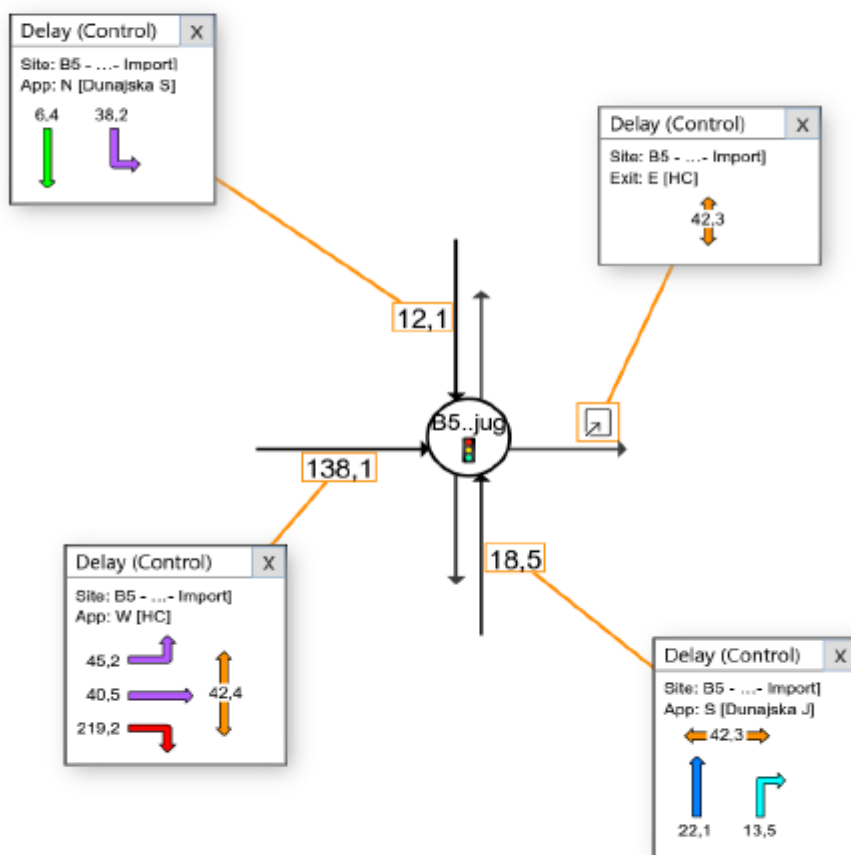
Site Category: (None)

Signals - EQUISAT (Fixed-Time/SCATS) Isolated Cycle Time = 96 seconds (Site User-Given Phase Times)

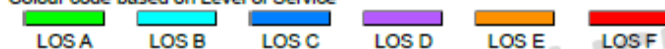
Use the button below to open or close all popup boxes. Click value labels to open selected ones.

Click and drag popup boxes to move to preferred positions.

Close All Popups



Colour code based on Level of Service



Site Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 6). Site LOS Method is specified in the Parameter Settings dialog (Site tab).  
LOS F will result if  $v/c > 1$  irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

NA (TWSC): Level of Service is not defined for major road approaches or the intersection as a whole for Two-Way Sign Control (HCM LOS rule).

Pedestrian Level of Service Method: SIDRA Pedestrian LOS Method (Based on Average Delay)

Delay Model: SIDRA Standard (Geometric Delay is included).

## Priloga C.5: Rezultati na križišču z MOC – sever (B5) – Sidra

### DELAY (CONTROL)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

**Site: B5 - sever [B5 JK 2022 S2 R - Import (Site Folder: General)]**

Wide-Median Intersection Site

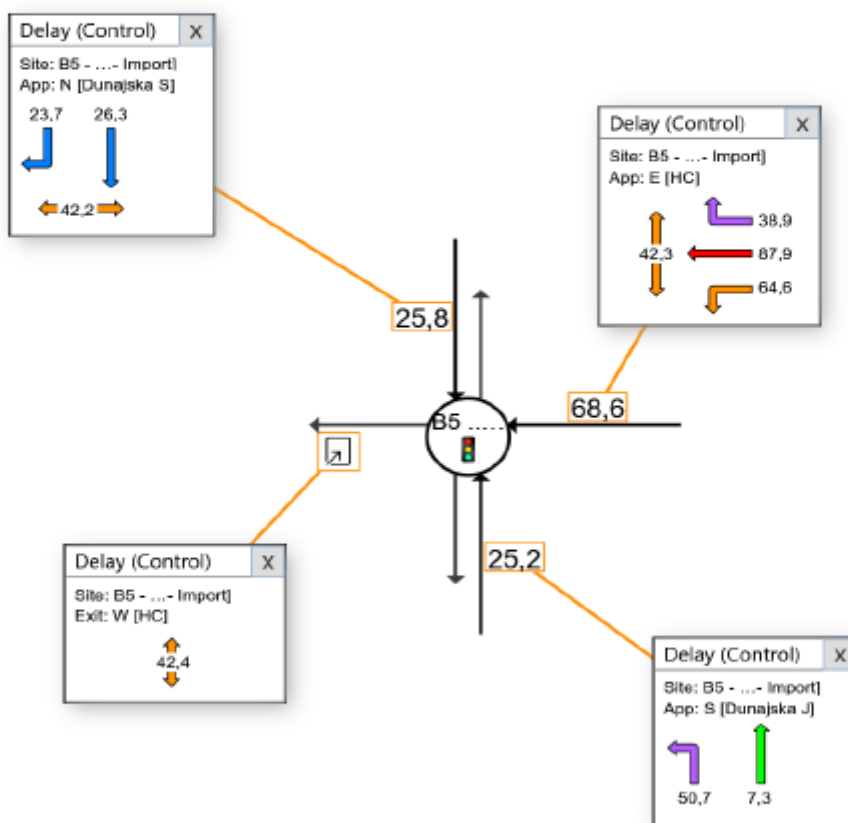
Site Category: (None)

Signals - EQUISAT (Fixed-Time/SCATS) Isolated Cycle Time = 96 seconds (Site User-Given Phase Times)

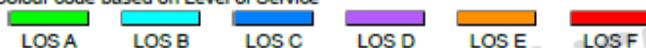
Use the button below to open or close all popup boxes. Click value labels to open selected ones.

Click and drag popup boxes to move to preferred positions.

Close All Popups



Colour code based on Level of Service



Site Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 6). Site LOS Method is specified in the Parameter Settings dialog (Site tab).  
LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

NA (TWSC): Level of Service is not defined for major road approaches or the intersection as a whole for Two-Way Sign Control (HCM LOS rule).

Pedestrian Level of Service Method: SIDRA Pedestrian LOS Method (Based on Average Delay)

Delay Model: SIDRA Standard (Geometric Delay is included).

Priloga C.6: Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Vistro



Priloga C.7: Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Vistro



Priloga C.8: Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Vistro

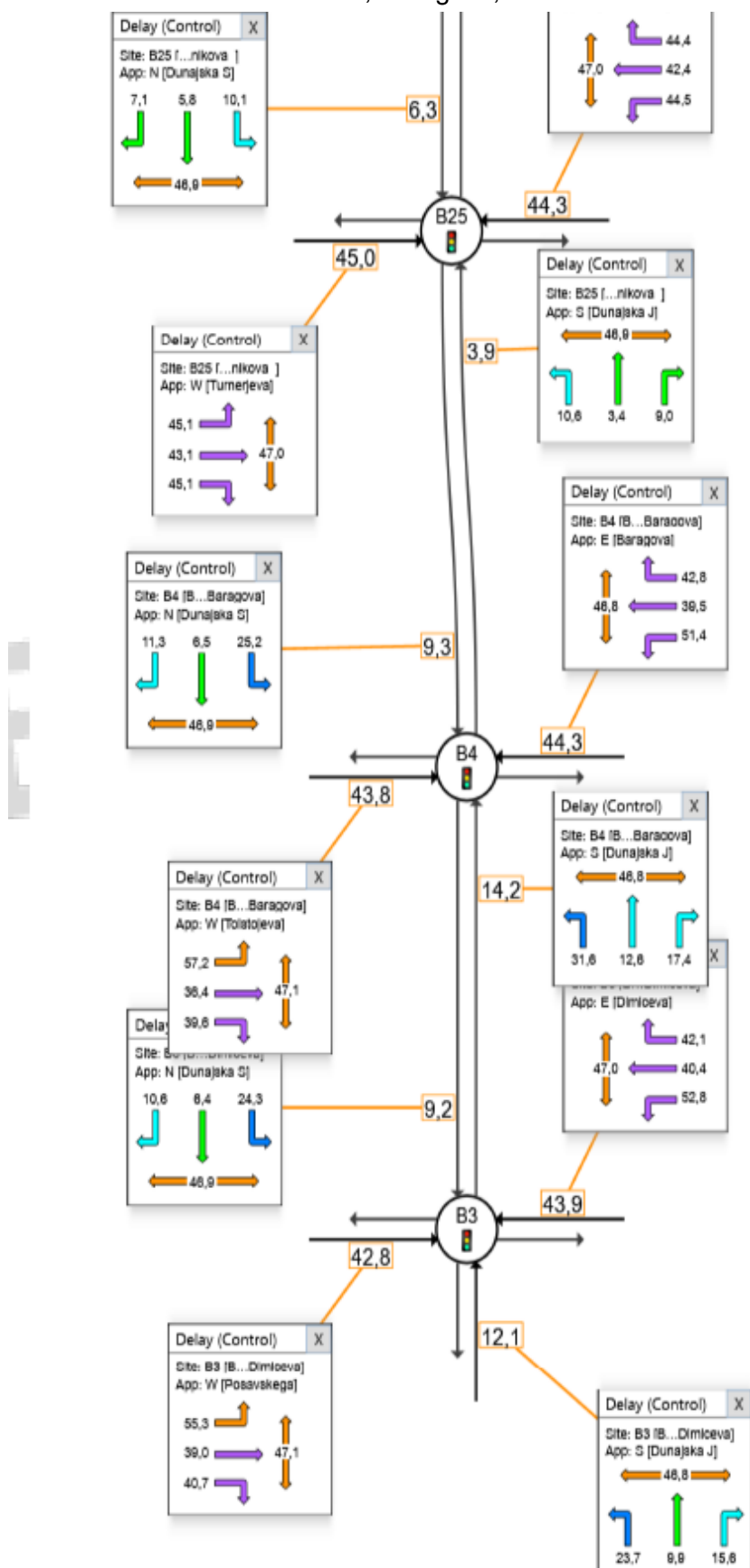


Priloga C.9: Rezultati na križišču z MOC (B5) – Vistro

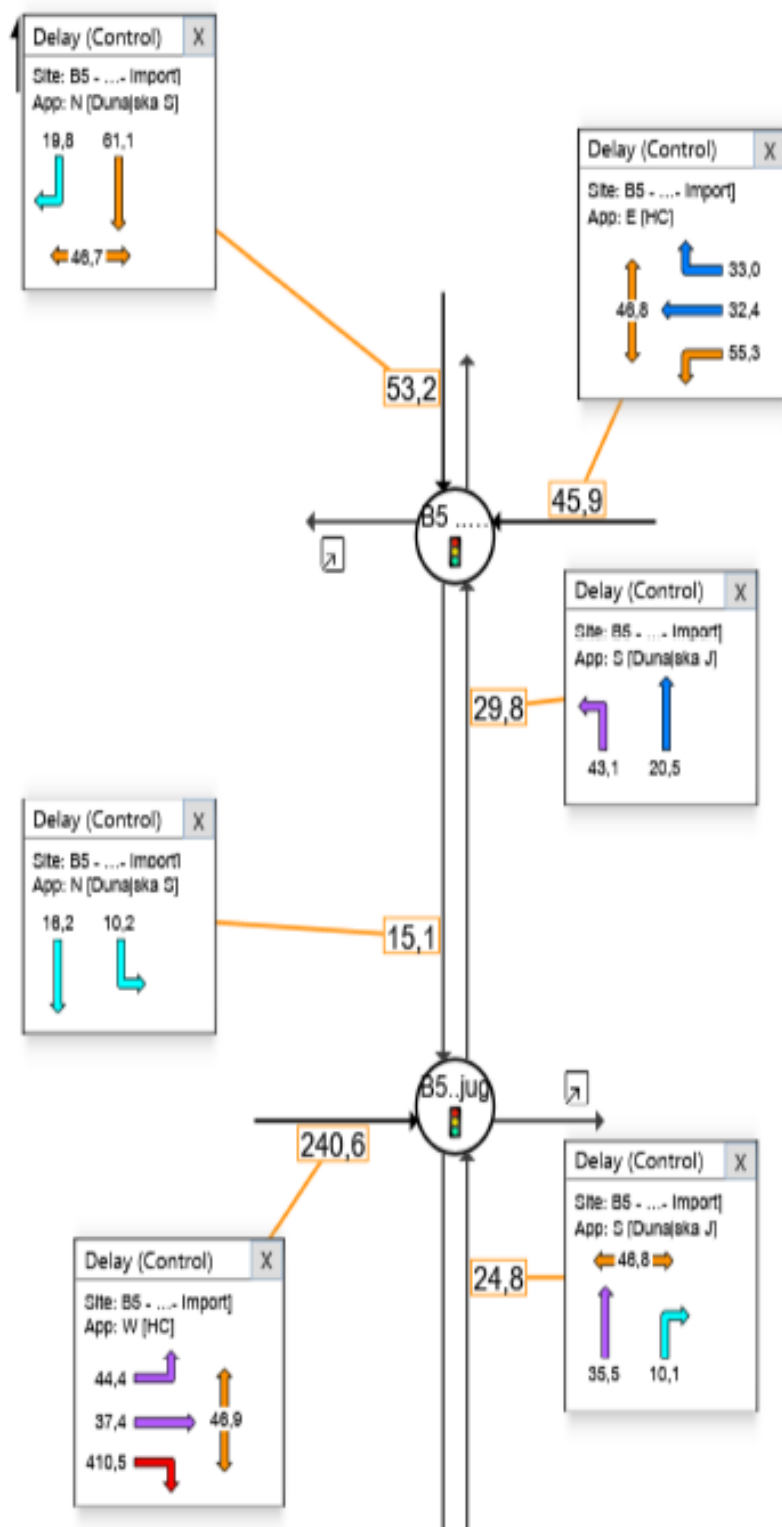


## PRILOGA D: OPTIMIZACIJA V OBLIKI LINIJSKE KOORDINACIJE

Priloga D.1: Rezultati na križiščih Dimičeva, Baragova, Kadilnikova ulica – Sidra



Priloga D.2: Rezultati na križišču z mestno obvoznico (B5) – Sidra



Priloga D.3: Rezultati na križišču Dimičeva ulica (B3) – Vistro



Priloga D.4: Rezultati na križišču Baragova ulica (B4) – Vistro



Priloga D.5: Rezultati na križišču Kadilnikova ulica (B25) – Vistro



Priloga D.6: Rezultati na križišču z MOC (B5) – Vistro

