

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Mlaker, P. 2013. Načrtovanje avtocestnih vozlišč s presajo variant z vidika prometne uspešnosti in varnosti - primer preureditve priključka Ljubljana Rudnik. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Juvanc, A., somentor Rijavec, R.): 76 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Mlaker, P. 2013. Načrtovanje avtocestnih vozlišč s presajo variant z vidika prometne uspešnosti in varnosti - primer preureditve priključka Ljubljana Rudnik. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Juvanc, A., co-supervisor Rijavec, R.): 76 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

PAVEL MLAKER

**NAČRTOVANJE AVTOCESTNIH VOZLIŠČ S PRESOJO
VARIANT Z VIDIKA PROMETNE USPEŠNOSTI IN
VARNOSTI - PRIMER PREUREDITVE PRIKLJUČKA
LJUBLJANA RUDNIK**

Diplomska naloga št.: 3295/PS

**MOTORWAY JUNCTION DESIGN WITH EMPHASIS
ON TRAFFIC PERFORMANCE AND SAFETY
ASSESSMENT - CASE STUDY JUNCTION LJUBLJANA
RUDNIK**

Graduation thesis No.: 3295/PS

Mentor:

doc. dr. Alojzij Juvanc

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

viš. pred. mag. Robert Rijavec

Član komisije:

prof. dr. Jože Korelc
doc. dr. Vlado Stankovski
doc. dr. Iztok Peruš
Teja Melink

Ljubljana, 25. 04. 2013

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **PAVEL MLAKER** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**NAČRTOVANJE AVTOCESTNIH VOZLIŠČ S PRESOJO VARIANT Z VIDIKA PROMETNE USPEŠNOSTI IN VARNOSTI – PRIMER PREUREDTVE PRIKLJUČKA LJUBLJANA RUDNIK**«.

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

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

Ljubljana, 2013

Pavel Mlaker

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.711.3:625.739(497.4Ljubljana)(043.2)
Avtor:	Pavel Mlaker
Mentor:	doc. dr. Alojzij Juvanc
Somentor:	viš. pred. mag. Robert Rijavec
Naslov:	Načrtovanje avtocestnih vozlišč s presojo variant z vidka prometne uspešnosti in varnosti -primer preureditve priključka Ljubljana Rudnik
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	76 str., 19 pregl., 52 sl., 9 graf., 22 pril.
Ključne besede:	idejna zasnova, več nivojsko križišče, priključek, vozlišče, simulacija, prometno ovrednotenje, primerjava, avtocesta

Izvleček

Diplomska naloga obsega idejno zasnovo preureditve avtocestnega priključka Ljubljana Rudnik v vozlišče. V njem je predvideno priključevanje glavne mestne ceste na avtocestno omrežje, medtem ko danes služi le priključevanju območja Rudnika in Iga na avtocesto. Namen preureditve je omogočiti neoviran prometni tok na najbolj obremenjenih smereh na območju vozlišča in obenem ohraniti funkcijo priključevanja območja Iga ter nakupovalno-industrijskega območja Rudnik na avtocesto, k temu pa dodati tudi povezavo na novo glavno mestno cesto.

V prvem delu je predstavljena terminologija, ki velja pri večnivojskih priključkih in vozliščih ter teoretične osnove za načrtovanje. Posvetili smo se pomenu obravnavanega območja in preverili robne pogoje umestitve prometnih površin v prostor.

Na podlagi prometnih obremenitev za plansko leto 2035 smo naredili nabor primernih oblik vozlišča. V pomoč so nam bili predhodni izračuni nivoja uslug za kritične smeri pri posamezni obliki, ki smo jih opravili s programskim orodjem za analizo po metodologiji HCM: Highway capacity software (HCS+). Najprimernejše štiri variante smo nato natančno opredelili še s prometnega vidika in določili potrebno število pasov na posameznih krakih in smereh vozlišča. Prometna primerjava s programom VISSIM 5.30 nam je podala prometno primernost posamezne rešitve. Izvedli smo tudi primerjavo z vidika prometne varnosti s pregledom konfliktnih točk med vozili s programsko opremo SSAM 2.1.6.

Po primerjavi s prometnega vidika, smo se lotili še gradbene primerjave izbranih štirih variant. Za izbrane štiri variante smo izrisali vertikalni potek posameznih ramp vozlišča in tako ugotovili potrebne

dolžine premostitvenih objektov pri posamezni varianti in tudi dejansko možnost izvedbe ter grobo oceno dolžin novih cest ter površin novih voziščnih konstrukcij in objektov. Za izdelavo grobe idejne zasnove smo uporabili geodetske podloge v elektronski obliki in programsko opremo za projektiranje infrastrukturnih objektov AutoCAD Civil 3D.

Na podlagi vseh primerjav smo se nato odločili za najprimernejšo varianto, katero se bo v naslednji fazi natančno izrisalo in dokončno optimiralo, kar pa ni več predmet te naloge.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	625.711.3:625.739(497.4Ljubljana)(043.2)
Author:	Pavel Mlaker
Supervisor:	Assist. Prof. Alojzij Juvanc, Ph.D.
Co-supervisor:	Sen. Lec. Robert Rijavec, M.Sc.
Title:	Motorway junction design with emphasis on traffic performance and safety assesment – case study junction Ljubljana Rudnik
Document type:	Graduation thesis – University studies
Scope and tools:	76 p., 19 tab., 52 fig., 9 graph., 22 ann.
Keywords:	predesign, interchange, junction, crossroad, simulation, traffic analysis, comparison, motorway, safety audit

Abstract

Thesis encompasses reconstruction predesign of the motorway junction Ljubljana Rudnik into motorway interchange. In this area is intended to be the junction of main arterial road with highway network, while today serves only as a minor junction of Rudnik and Ig area on the motorway. The purpose of reconstruction is to enable free traffic flow on most congested directions of the interchange, but also preserve the present function, in which Ig and Rudnik area are connected with the motorway. But we also want to add another function of merging new arterial road with motorway network.

In the first part we have introduced terminology regarding interchanges, ramps and intersections, including theoretial bases for planning and design. We have focused on the meaning of hearing area and determined the conditions for roadway spatial planning.

Based on the traffic demand study, for the planning year 2035, we have chosen a collection of characteristic interchange forms. We estimared the level of service of chosen section of interchange for critical movements. We used Highway capacity software (HCS+) which is based on Highway capacity manual 2000. The four most appropriate variants were detailed analysed with software VISSIM 5.30. With the help of the program we determined the number of lanes on ramps and other roads. We chose the most appropriate variant for this case by comparitive analysis, where we compared variants also in the meaning of traffic safety. We use SSAM 2.1.6 software for traffic safety impact assesment. For each variant we estimated the number of potential conflicts between the vehicles.

After »traffic comparison« we checked the construction possibilities and necessities for four chosen variants. We designed longitudinal profiles for each ramp of the interchange for every variant. Then we estimated the lengths of needed overcoming structures for each case and physical possibility to build them in limited urban space. We roughly estimated the length of new roads and the size of the area used for roadways and bridges. We used surveying data in digital form and AutoCAD Civil 3D software for making a rough predesign of the interchange.

After all the comparisons we have made, we then decided which variant is the most appropriate and adequate for this case. The chosen form will be in the next phase thoroughly designed and optimized but that is no longer the part of this thesis.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Alojziju Juvancu in somentorju viš. pred. mag. Robertu Rijavcu.

Zahvaljujem se tudi doc. dr. Tomažu Maherju za nasvete pri izdelavi diplomske naloge in v času študija.

Zahvaljujem se mami Jerici in očetu Alojzu, ki sta mi študij omogočila in me pri njem spodbujala.

Zahvala pa je namenjena tudi mojim prijateljem za moralno podporo in druženje v času študija.

»Ta stran je namenoma prazna.«

VSEBINSKO KAZALO

1	UVOD	1
2	NAMEN IN CILJI NALOGE	4
3	OBSTOJEČE STANJE	5
3.1	Položaj in pomen VNK Rudnik.....	5
3.2	Prostorske razmere	6
3.2.1	Morfologija in temeljna tla.....	6
3.2.2	Urbanizem in pozidava.....	7
3.2.3	Hidrološke razmere	7
3.2.4	Varstvo naravne in kulturne dediščine	9
3.2.5	Prostorski načrti.....	9
3.3	Prometne obremenitve.....	10
3.3.1	Glavne prometne smeri na območju vozlišča.....	10
3.3.2	Prometne obremenitve leta 2013.....	11
3.3.3	Prometne obremenitve leta 2035	12
4	VEČNIVOJSKA KRIŽIŠČA – TEORIJA	15
4.1	Sestavine večnivojskih križišč.....	15
4.2	Večnivojski priključek	18
4.3	Večnivojsko vozlišče.....	18
4.4	Sistemi in oblike večnivojskih križišč	19
4.4.1	»Trobenta« (slika 20)	19
4.4.2	»Trikotnik« (slika 21).....	20
4.4.3	»Hruška« (slika 22)	21
4.4.4	»Polovična deteljica« (slika 23)	21
4.4.5	»Romb«	22
4.4.6	»Polovična deteljica« (slika 27)	24
4.4.7	»Deteljica« (slika 28)	25
4.4.8	»Malteški križ« (slika 29) in »turbina« (slika 30)	26
4.4.9	»Mlin na veter« (slika 31)	27
4.5	Uporabnost različnih oblik večnivojskih križišč	27
5	IDEJNA ZASNOVA VARIANT VOZLIŠČA	30
5.1	Stične točke vozlišča	30
5.2	Koračno načrtovanje posameznih variant	31
5.2.1	Varianta 1-1	33

5.2.2	Varianta 1-2	34
5.2.3	Varianta 1-3	34
5.2.4	Varianta 2-1	35
5.2.5	Varianta 2-2	36
5.2.6	Varianta 2-3	36
5.2.7	Varianta 3-1	37
5.2.8	Varianta 3-2	38
5.2.9	Varianta 4-1	39
5.3	Primarna izločitev variant.....	40
5.4	Primerjava izbranih variant.....	43
5.4.1	Prometno analiziranje s programom VISSIM 5.30	43
5.4.2	Primerjava variant s prometnega vidika	52
5.4.3	Analiza variant z vidika prometne varnosti s programom SSAM 2.1.6	57
5.4.4	Primerjava variant z vidika prometne varnosti	62
5.4.5	Projektiranje potrebnih novogradenj	64
5.4.6	Primerjava z gradbenega vidika.....	66
5.5	Predlagana najprimernejša varianta	70
6	ZAKLJUČEK	73
VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Matrika prometnih obremenitev vozil/uro v konični uri (ocena stanja leto 2013).....	11
Preglednica 2: Matrika prometnih obremenitev vozil/uro v konični uri (ocena stanja leto 2035).....	12
Preglednica 3: Primernost oblik večnivojskih križišč (Vir: Projektovanje puteva)	28
Preglednica 4: Rezultati simulacije »obstoječe stanje leto 2013«.....	45
Preglednica 5: Rezultati simulacije »obstoječe stanje leto 2035«.....	46
Preglednica 6: Rezultati simulacije »varianta 1-1«.....	48
Preglednica 7: Rezultati simulacije »varianta 2-2«.....	49
Preglednica 8: Rezultati simulacije »varianta 3-2«.....	51
Preglednica 9: Rezultati simulacije »varianta 4-1«.....	52
Preglednica 10: Ocena prometne zmogljivosti variant.....	57
Preglednica 11: Število konfliktov pri varianti 1-1	59
Preglednica 12: Število konfliktov pri varianti 2-2	60
Preglednica 13: Število konfliktov pri varianti 3-2	61
Preglednica 14: Število konfliktov pri varianti 4-1	62
Preglednica 15: Parametri primerjave z vidika prometne varnosti	62
Preglednica 16: Primerjava rezultatov T-testa variant 4-1 in 2-2.....	64
Preglednica 17: Minimalni horizontalni geometrijski elementi	65
Preglednica 18: Gradbeni parametri variant - dolžine.....	68
Preglednica 19: Gradbeni parametri variant - površine.....	69

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava skupno prevoženih razdalj (km v konični uri).....	52
Grafikon 2: Primerjava skupnega potovalnega časa (ur v konični uri)	53
Grafikon 3: Primerjava skupnega časa zamud (ur v konični uri)	54
Grafikon 4: Primerjava skupnega števila zaustavitev (v konični uri).....	54
Grafikon 5: Primerjava povprečne zamude zaradi zaustavitve (s/voz v konični uri)	55
Grafikon 6: Primerjava povprečne hitrosti vozil v letu 2035 (km/h v konični uri)	56
Grafikon 7: Primerjava števila konfliktnih situacij v konični uri – leto 2035	63
Grafikon 8: Primerjava ocenjenih gradbenih dolžin (v metrih).....	69
Grafikon 9: Primerjava ocenjenih površin (v kvadratnih metrih).....	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Notranji cestni obroč.....	1
Slika 2: Trije cestni obroči okoli Ljubljane.....	2
Slika 3: Območje obstoječega priključka LJ Rudnik (Foto: Pavel Mlaker).....	3
Slika 4: Koridor trase glavne mestne ceste, pogled proti Dolenjski cesti (Foto: Pavel Mlaker).....	3
Slika 5: Vozlišče Koseze.....	5
Slika 6: Območje v nalogi obravnavanega vozlišča Rudnik.....	6
Slika 7: Območje priključka Ljubljana Rudnik.....	7
Slika 8: Vodotoki na območju priključka	8
Slika 9: Opozorilna karta poplav za obravnavavo območje.....	8
Slika 10: Območje krajinskega parka Ljubljansko barje.....	9
Slika 11: Občinski prostorski načrt MOL - prometni del.....	10
Slika 12: Prometne smeri v območju vozlišča	11
Slika 13: Prometne obremenitve na obravnavanem območju za leto 2013.....	12
Slika 14: Prometne obremenitve na obravnavanem območju za leto 2035.....	13
Slika 15: Povprečni dnevni promet iz avtoceste proti ostalim smerem.....	13
Slika 16: Povprečni dnevni promet iz ostalih smeri na avtocesto	14
Slika 17: Povprečni dnevni promet med ostalimi smermi	14
Slika 18: Sestavine večnivojskih križišč	15
Slika 19: Večnivojsko vozlišče Zadobrova pri Ljubljani.....	19
Slika 20: »Trobenta«.....	19
Slika 21: »Trikotnik«	20
Slika 22: »Hruška«.....	21
Slika 23: »Polovična deteljica«.....	21
Slika 24: »Diamant«.....	22
Slika 25: Točkovno urbano križišče.....	23
Slika 26: Krožišče	23
Slika 27: »Polovična deteljica«.....	24

Slika 28: »Deteljica«	25
Slika 29: »Malteški križ«.....	26
Slika 30: »Turbina«	26
Slika 31: »Mlin na veter«	27
Slika 32: Značilne točke vozlišča	30
Slika 33: Koraki variante 1-1.....	33
Slika 34: Koraki variante 1-2.....	34
Slika 35: Koraki variante 1-3.....	34
Slika 36: Koraki variante 2-1.....	35
Slika 37: Koraki variante 2-2.....	36
Slika 38: Koraki variante 2-3.....	36
Slika 39: Koraki variante 3-1.....	37
Slika 40: Koraki variante 3-2.....	38
Slika 41: Koraki variante 4-1.....	39
Slika 42: Prometni model obstoječega stanja	45
Slika 43: Prometni model obstoječega stanja leto 2035	46
Slika 44: prometni model variante 1-1	47
Slika 45: prometni model variante 2-2	49
Slika 46: prometni model variante 3-2	50
Slika 47: Prometni model variante 4-1	51
Slika 48: Konflikti med vozili varianta 1-1	58
Slika 49: Konflikti med vozili varianta 2-2	59
Slika 50: Konflikti med vozili varianta 3-2	60
Slika 51: Konflikti med vozili varianta 4-1	61
Slika 52: Shema prometne ureditve izbrane variante	72

KRATICE

AC	Avtocesta
BTC	Blagovno trgovski center
GMC	Glavna mestna cesta
HC	Hitra cesta
LJ	Ljubljana
MOL	Mestna občina Ljubljana
NS	Nakupovalno središče
OPN	Občinski prostorski načrt
PNZ	Projekt nizke zgradbe, Ljubljana
SURS	Statistični urad Republike Slovenije
TEN	Trans-european network
VNK	Večnivojsko križišče

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Ljubljana je kot glavno mesto Slovenije prometno izjemno obremenjena. Temu ne pripomore le njen značaj upravnega, gospodarskega, izobraževalnega in prometnega središča, ampak tudi dejstvo, da leži na križišču dveh pomembnih evropskih prometnih koridorjev. Tu se križata koridorja 5-Benetke – Kijev in 10-Salzburg – Solun.

Prometno omrežje okoli Ljubljane je zasnovano po radialnem sistemu s tremi cestnimi obroči:

- Zunanji obroč (avtoceste in hitra cesta)
- Srednji obroč (še ni dokončno zgrajen, ja pa predviden v OPN)
- Notranji obroč (okoli centra mesta)

Te obroče pa med seboj povezujejo mestne vpadnice.

Tranzitni promet na TEN (ang. Trans European Network) koridorjih poteka po avtocestnem obroču okoli Ljubljane, ki omogoča povezave na vse strani Slovenije. Obenem pa ta obroč služi kot obvoznica Ljubljane in vpadnica, po kateri vsak dan prihaja v Ljubljano na delo ali v šolo več kot 115000 ljudi (vir: SURS). Konične obremenitve so zaradi tega zelo velike in dnevno prihaja do zastojev.

Znotraj avtocestnega obroča poteka okoli centra najprej notranji cestni obroč, ki ga je zasnoval urbanist Maks Fabiani, sklenjen pa je bil v avgustu 2012 z odprtjem mostu med Roško in Njogoševo cesto. Sestavljajo ga še naslednje ceste: Tivolska, Trg mladinskih delovnih brigad, Aškerčeva, Zoisova, Karlovška, Za gradom, Roška, Njogoševa in Masarykova.



Slika 1: Notranji cestni obroč

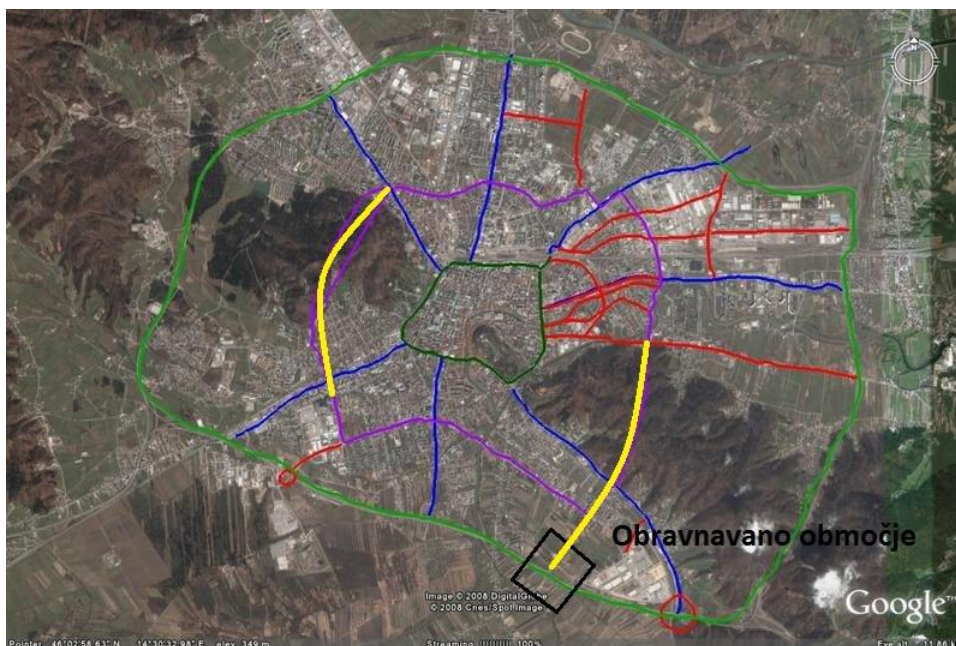
Vir:

http://www.siol.net/avtomoto/zanimivosti/reportaze/2011/09/kdaj_bo_v_ljubljani_sklenjen_notranji_prometni_obroc.aspx

Drugi oziroma srednji cestni obroč še ni sklenjen. V občinskem prostorskem načrtu (OPN) mestne občine Ljubljana (MOL) so določene naslednje glavne mestne ceste (GMC), ki ga sestavljajo: Koprška, Cesta v Mestni log, Hladnikova, Jurčkova, novo načrtovana povezava med Jurčkovo in Kajuhovo s predorom pod Golovcem, Kajuhova, Šmartinska, Pokopališka, Linhartova, Topniška, Samova, Drenikova in novo načrtovana povezava med Celovško in Tržaško s predorom pod Rožnikom, skozi Rožno dolino in navezavo na Koprsko. Za dokončanje manjkata dva precej draga odseka, oba s predori, katerih izvedba v kratkoročnem načrtu ni predvidena in sta na sliki 2 označena z rumeno barvo.

Obravnavani avtocestni priključek Ljubljana (LJ) Rudnik je prometno funkcionalno povezan s t.i. srednjim cestnim obročem v Ljubljani. Danes namreč služi le kot priključek jugovzhodnega dela mesta in nakupovalnega središča na avtocestni sistem Slovenije. Po izgradnji manjkajočega dela srednjega obroča s predorom pod Golovcem pa se bo njegova funkcija povečala. Ker bo nova povezava omogočila tudi direkten promet med južno avtocesto in hitro cesto na severu, se bo spremenil tudi prometni nivo sedanjega priključka LJ Rudnik. Glede na to, kateremu in kakšnemu prometu bo namenjen, ga je treba uvrstiti med vozlišča.

Skica notranjega (temno zeleno), srednjega (vijolično in rumeno kar ni dograjeno) in avtocestnega obroča (svetlo zeleno) je podana na naslednji sliki.



Slika 2: Trije cestni obroči okoli Ljubljane

Vir: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=602284&page=105>

Po izgradnji nove glavne mestne ceste bo zagotovljena tudi neposredna povezanost dveh velikih nakupovalnih območij na Rudniku in v BTC-ju. Zato je potrebno že pri načrtovanju vozlišča imeti v mislih povezavo nakupovalnega območja Rudnik z novo mestno cesto, poleg tega, da ohranimo primerno povezavo tega območja na avtocesto, kjer so prometne obremenitve že danes precejšnje, velik pa je tudi delež tovornih vozil v strukturi prometnega toka.



Slika 3: Območje obstoječega priključka LJ Rudnik (Foto: Pavel Mlaker)



Slika 4: Koridor trase glavne mestne ceste, pogled proti Dolenjski cesti (Foto: Pavel Mlaker)

2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Obstoječi avtocestni priključek LJ Rudnik služi priključevanju nakupovalno – industrijskega območja Rudnik (NS Rudnik) na avtocesto. Prav tako se preko tega priključka na avtocestni sistem navezuje območje Iga in stanovanjska naselja na območju Peruzzijske ceste in Galjevice. Glavna funkcija obstoječega priključka je torej priključevanje na avtocesto.

V OPN MOL pa je predvidena nova glavna mestna cesta, ki poteka od obstoječega priključka LJ Rudnik, skozi nov predor pod Golovcem na severno stran na območje Litijske ali Kajuhove ceste. S to novo povezavo pa se funkcija priključka LJ Rudnik spremeni. Poleg obstoječe funkcije priključevanja služi priključek tudi povezovanju širšega mestnega območja na avtocestni sistem. S tem se znatno poveča tudi prometna obremenitev in na smereh z večjim deležem prometa je potrebno vzpostaviti režim, ki bo sposoben učinkovito prevzeti dane obremenitve. Namen diplomskega dela je predstaviti strokovni pristop pri načrtovanju in projektiranju večnivojskih križišč (VNK), in to bomo prikazali na predstavljenem primeru.

Nova mestna cesta bo povezala dve območji z velikim izvorom in ponorom potovanj, t.j. območje nakupovalnega območja BTC in NS Rudnik. S tem bi se vzhodna avtocesta med Malencami in Zadobrovo delno razbremenila lokalnih potovanj. Povezava bo tako tudi boljše povezala severni in južni del mesta Ljubljana, ki ju ločuje naravna ovira Golovec.

Preurejeni priključek bo predstavljal novo vstopno točko v mesto Ljubljana, priključno točko območja NS Rudnik in navezavo Iškega ter podkrimskega območja na cestno omrežje. Za združitev funkcij dostopa, povezovanja in navezovanja pa je treba poiskati rešitev, ki bo vse to omogočala. Cilj naloge je definiranje nove prometne funkcije VNK Rudnik in potrebnih ukrepov.

S preureditvijo želimo:

- Zagotoviti neoviran prometni tok vozil, ki iz avtoceste prihajajo na novo mestno cesto in vozil, ki se iz nje priključujejo na avtocesto
- Povezati območje Iga in Peruzzijske ceste tako z avtocesto kot z novo mestno cesto
- Omogočiti priključevanje nakupovalnega območja Rudnik na avtocesto in mestno cesto

Za doseg te ciljeve pa je potrebno izdelati objekt, ki po svoji funkciji ni več le priključek ali razcep, ampak vozlišče prometnih tokov z zelo različnimi lastnostmi.

3 OBSTOJEČE STANJE

3.1 Položaj in pomen VNK Rudnik

Priključek LJ Rudnik ima funkcijo lokalnega priključevanja na avtocesto, po dopolnitvi cestne mreže mesta Ljubljana pa bo njegova vloga spremenjena in bo podobna vlogi in pomenu obstoječega vozlišča Koseze.

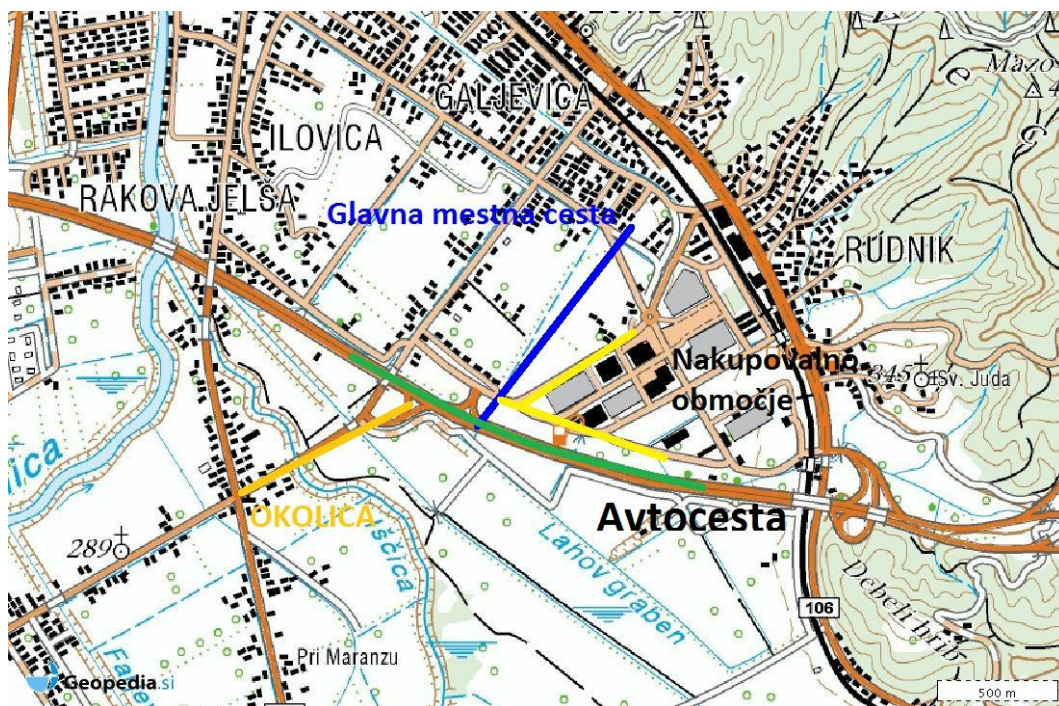
Tam se od zahodne avtoceste odcepi glavna mestna cesta, ki je sicer kategorizirana kot hitra cesta. V neposredni bližini pa se na obe cesti priključuje stanovanjsko območje pri Kosezah in pa okolica Ljubljane z zahoda.



Slika 5: Vozlišče Koseze

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

Na mestu priključka LJ Rudnik bo situacija po preureditvi podobna. Od južne avtoceste se odcepi novo načrtovana GMC. Obenem želimo priključiti NS Rudnik na avtocesto in mestno cesto. Z južne strani pa želimo na avtocesto in novo glavno mestno cesto priključiti še območje južno od Ljubljane in podkrimska naselja.



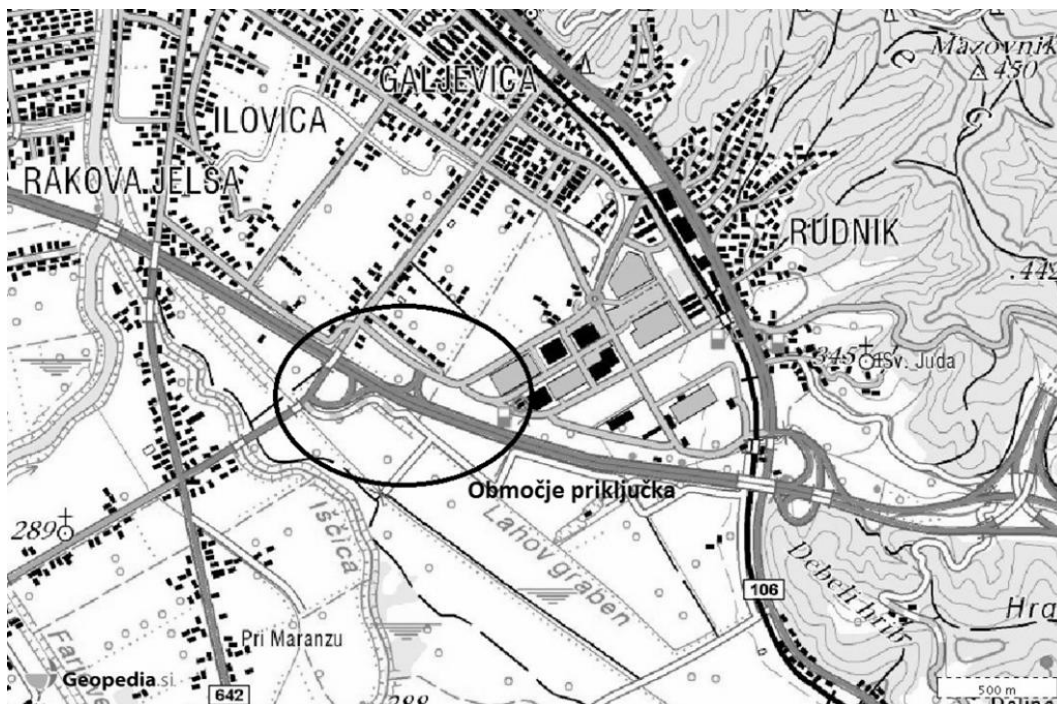
Slika 6: Območje v nalogi obravnavanega vozlišča Rudnik

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

3.2 Prostorske razmere

3.2.1 Morfologija in temeljna tla

Na območju avtocestnega priključka LJ Rudnik imamo ravninski teren Ljubljanskega barja, ki zahteva specialni pristop k izgradnji infrastrukture. Predvideti je potrebno dolgotrajnejšo konsolidacijo temeljnih tal in gradnjo objektov s primerno tehnologijo. Pri gradnji nasipov je potrebno predvideti ukrepe za pospešeno konsolidacijo. Iz izkušenj pri gradnji južne avtoceste (vir: A. Juvanc) vemo, da sme biti višina priključnih nasipov k nadvozom in ostalim premostitvenim objektom največ 1,5 metra, to pa pomeni daljše objekte.



Slika 7: Območje priključka Ljubljana Rudnik

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

3.2.2 Urbanizem in pozidava

Na mestu obstoječih uvoznih in izvoznih ramp na severni strani avtoceste imamo ob Peruzzijevi cesti linijsko pozidavo stanovanjskih hiš. V nekaterih variantah se ne bo mogoče izogniti rušenju hiš na koncu vrste. Pri načrtovanju želimo, v kolikor je možno, uporabiti obstoječe rampe priključka. Obstoječi nadvoz bomo poskušali smiselno vključiti v cestno mrežo. Na obstoječem vstopu v NS Rudnik je trikrako križišče, ki ga bo potrebno preurediti (vse razvidno iz slike 7). Danes je avtocesta na tem območju štiripasovnica z odstavnimi in robnimi pasovi ter vmesnim ločilnim pasom. Ker pa je v načrtu širitev le-te v šestpasovnico, smo to upoštevali pri načrtovanju vozlišča in pri prometnem vrednotenju območja.

3.2.3 Hidrološke razmere

Na levi strani načrtovane nove glavne mestne ceste imamo manjši potok, ki zbira meteorno vodo s polj v njegovi okolici in se izliva v Lahov graben. Priključi se mu še jarek na severni strani in nekaj poljskih jarkov v okolici obstoječih ramp priključka. Večji vodotok pa je jugozahodneje Ižica ki jo je treba upoštevati pri navezovanju smeri iz Iga na vozlišče. Ostalih vodotokov v bližini ni, je pa pomembno opozoriti na talno vodo, ki je na barjanskih tleh zelo visoka. V tej fazi načrtovanja in analiziranja se odvodnavanju območja ne bomo posvečali, prav tako ne bomo pozorni na odvodnjavanje cest na območju, saj to ne vpliva odločilno na obliko vozlišča.



Slika 8: Vodotoki na območju priključka

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

Poplavna ogroženost območja narekuje zadostno višino cestnega telesa glede na okoliški teren za zagotovitev prevoznosti cest v času poplav. Bomo pa z gradnjo nasipov to le še poslabšali. Temu primerno bi bilo potrebno izdelati elaborat vpliva na poplavno ogroženost.

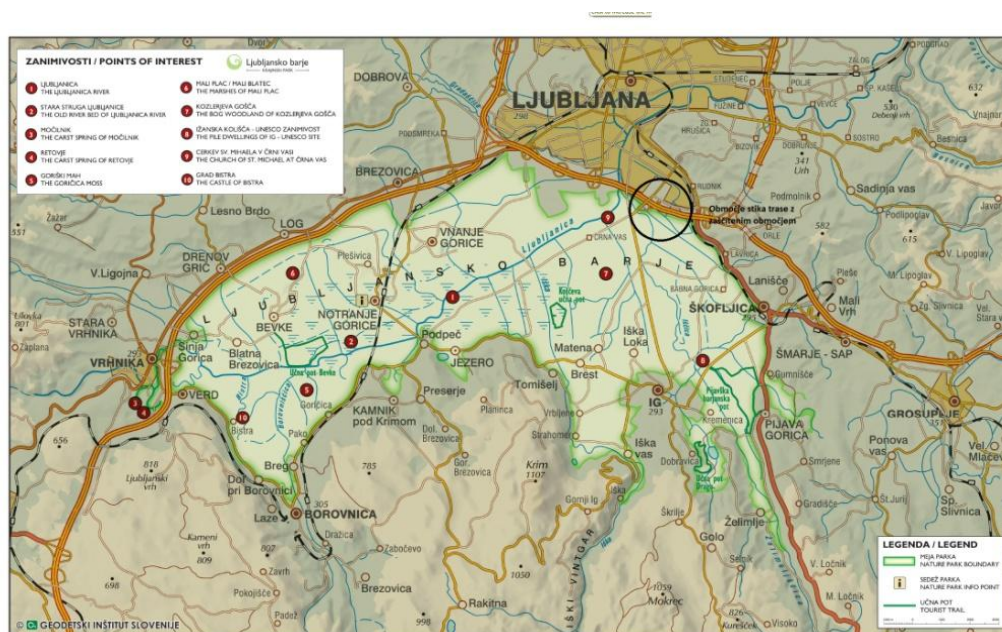


Slika 9: Opozorilna karta poplav za obravnavavo območje

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

3.2.4 Varstvo naravne in kulturne dediščine

Na območju avtocestnega priključka LJ Rudnik moramo upoštevati krajinski park Ljubljansko barje, ki je zaščiten območje Nature 2000. Meja tega območja je obstoječa avtocesta A1. Vsakršen poseg v priključek na južni strani avtoceste bo tako poseg v ta krajinski park. Kljub temu, da gradnja na tem območju ni dovoljena, oz. so predpisi izjemno strogi, smo vseeno preučili in uporabili rešitve, ki na to območje posegajo. Seveda bi te posege skušali zmanjšati kolikor se le da.

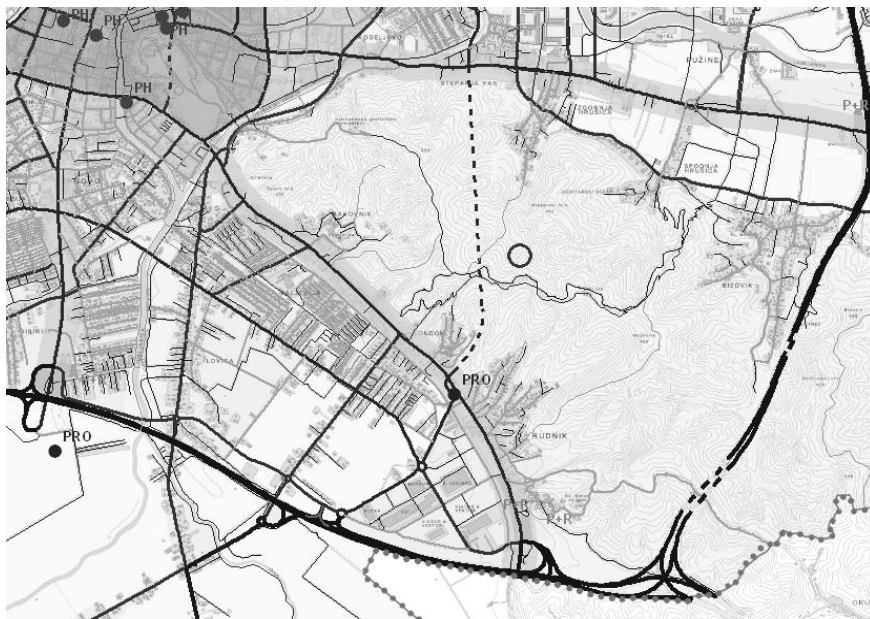


Slika 10: Območje krajinskega parka Ljubljansko barje

Vir: <http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/podobe/velik-zemljevid.jpg>

3.2.5 Prostorski načrti

Prometni del OPN MOL, ki je bil sprejet z odlokom Mestnega sveta Mestne občine Ljubljana 5. 7. 2010 predvideva izgradnjo povezave Dolenjske ceste s Kajuhovo s predorom pod Golovcem. Prav tako predvideva rekonstrukcijo avtocestnega priključka LJ Rudnik. Za povezavo predora s priključkom LJ Rudnik pa so predvidene že obstoječe ceste mimo NS Rudnik. Te ceste pa so danes v funkciji zbirnih mestnih cest in niso primerne za mešano uporabo v funkciji glavne mestne ceste. V našem predlogu zato obstoječo cesto puščamo v funkciji lokalne zbirne ceste, predvidevamo pa novo povezavo, ki bo prevzela funkcijo glavne mestne ceste. Predvidena pa je tudi širitev avtocestnega obroča v šestpasovnico in to je v nalogi upoštevano. (OPN MOL – prometni del)



Slika 11: Občinski prostorski načrt MOL - prometni del

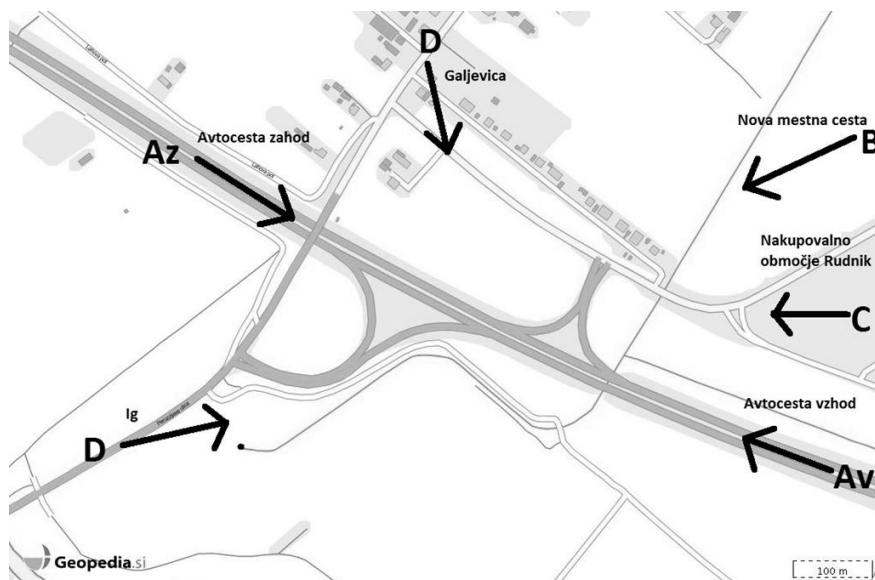
Vir: <https://urbanizem.ljubljana.si/UrbanInfoWeb/profile.aspx?id=UrbanInfo2@Ljubljana>

3.3 Prometne obremenitve

3.3.1 Glavne prometne smeri na območju vozlišča

Na območju vozlišča bo potrebno spojiti naslednje prometne smeri:

- **smer A** – avtocesta A1, AZ-zahod, AV-vzhod
- **smer B** – nova GMC od priključka LJ Rudnik proti Golovcu
- **smer C** – dostop do NS Rudnik
- **smer D** – obstoječa povezava iz smeri Iga in Galjevice



Slika 12: Prometne smeri v območju vozlišča

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

3.3.2 Prometne obremenitve leta 2013

Trenutne prometne razmere na območju priključka nam ob konicah že kažejo pomanjkljivosti obstoječe prometne infrastrukture na tem območju. Iz študije prometnih obremenitev Promet Ljubljana 2009, ki jo je izdelalo podjetje PNZ d.o.o. iz Ljubljane, smo pridobili podatke o prometnih obremenitvah na današnji cestni mreži. V preglednici so v vrsticah zapisane količine vozil, ki iz posamezne smeri potujejo proti smerem, zapisanim v stolpcih. Podane vrednosti predstavljajo prometno povpraševanje v merodajni uri, izraženi v vozilih na uro.

Preglednica 1: Matrika prometnih obremenitev vozil/uro v konični uri (ocena stanja leto 2013)

Ponor Izvor	AZ	AV	Ig	Galjevica	Rudnik-J	Rudnik-S
AZ	/	2300	50	50	150	250
AV	2400	/	50	50	100	200
Ig	60	60	/	30	50	50
Galjevica	60	60	30	/	50	50
Rudnik-J	70	70	20	20	/	70
Rudnik-S	190	200	30	30	50	/

Ocenjeni delež tovornih vozil na avtocesti danes je 15 %, na ostalih cestah pa 5 %.



Slika 13: Prometne obremenitve na obravnavanem območju za leto 2013

Vir: Promet Ljubljana 2009, PNZ

3.3.3 Prometne obremenitve leta 2035

Iz študije prometnih obremenitev smo ocenili prometne obremenitve po posameznih smereh in na posameznih povezavah. Ker GMC, kot jo mi načrtujemo, v študiji PNZ d.o.o. ni predvidena, smo ocenili obremenitev te nove povezave iz prometnih obremenitev preostale cestne mreže na območju vozlišča za leto 2035 in na podlagi tega določili naslednjo matriko obremenitev.

Preglednica 2: Matrika prometnih obremenitev vozil/uro v konični uri (ocena stanja leto 2035)

Ponor Izvor	Galjevica	Ig	Rudn. S	Rudn. J	AZ	AV	GMC
Galjevica	/	20	20	40	80	80	55
Ig	10	/	25	25	85	85	85
Rudn. S	5	15	/	10	85	130	60
Rudn. J	10	20	20	/	225	360	180
AZ	30	85	110	225	/	3400	340
AV	25	75	100	200	3500	/	300
GMC	20	50	155	155	380	530	/

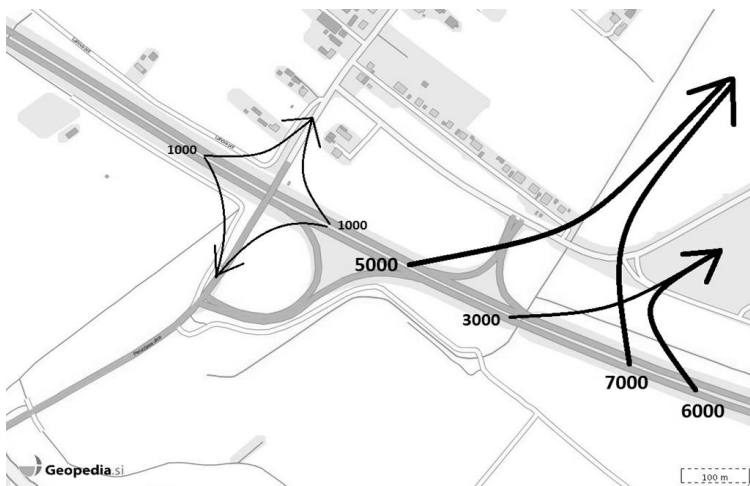
Na avtocesti je grobo ocenjen delež tovornih vozil 20 %, na glavni mestni cesti 10 %, na ostalih cestah na obravnavanem območju pa 5 %.



Slika 14: Prometne obremenitve na obravnavanem območju za leto 2035

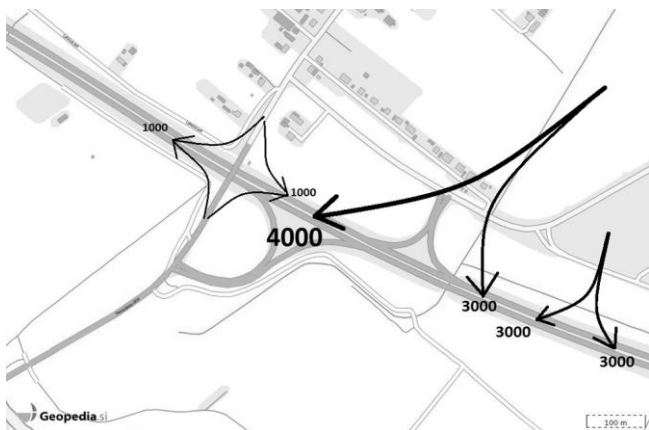
Vir: Promet Ljubljana 2009, PNZ

Na naslednjih slikah je za jasnejšo predstavo predstavljen še shematsko povprečni dnevni promet med posameznimi smermi na obravnavanem območju.

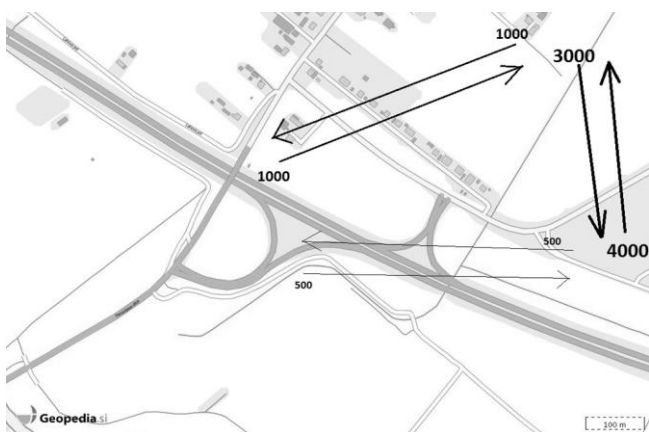


Slika 15: Povprečni dnevni promet iz avtoceste proti ostalim smerem

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4



Slika 16: Povprečni dnevni promet iz ostalih smeri na avtocesto

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

Slika 17: Povprečni dnevni promet med ostalimi smermi

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

Iz sheme prometnih obremenitev vidimo, da je najbolj obremenjena povezava AV-B, ki pomeni vozila iz vzhodne strani avtoceste na novo povezavo, močno je obremenjena še povezava AV-C, ki pomeni vožnjo iz vzhodne strani avtoceste v nakupovalno območje Rudnik. Malo manj, a še vseeno precej, je obremenjena povezava AZ-B, iz zahodne strani avtoceste na novo glavno mestno cesto.

Na teh najbolj obremenjenih povezavah moramo zagotoviti prosti tok vozil, da bi preprečili zastoje na izključevalnih rampah z avtoceste. Ostale smeri so manj obremenjene, zato bomo njihovo vodenje podrejali vodenju povezav A-B in A-C.

Zaradi narave dejavnosti, ki se odvija znotraj območja Rudnik, imamo na tem priključku proti in iz smeri C (nakupovalno območje) dokaj velik delež tovornih vozil. Prometne obremenitve kažejo, da priključek v obstoječi obliki za predvidene prometne obremenitve ne bo več primerno funkcioniral, zato je smiselno poiskati rešitev, ki bo učinkovito reševala prometno problematiko v prihodnosti.

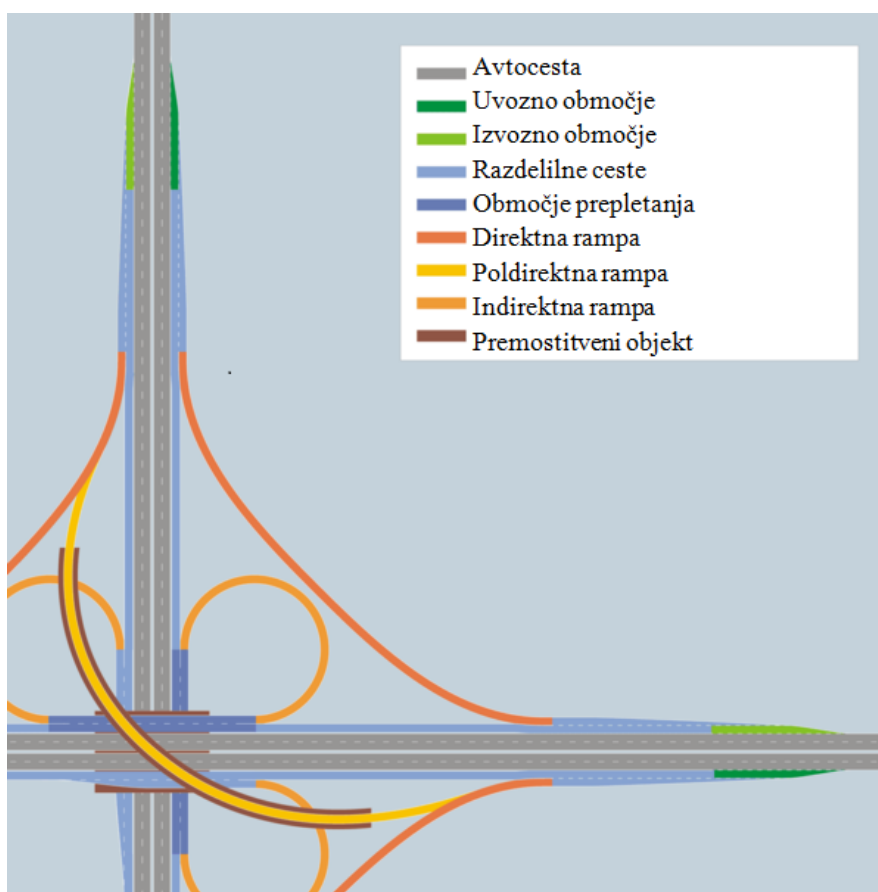
4 VEČNIVOJSKA KRIŽIŠČA – TEORIJA

Večnivojsko križišče (VNK) je tehnična rešitev križanja dveh ali več prometnih površin na različnih višinah tako, da ni oviran pretok prometa na tranzitni poti. Prometne poti so lahko sestavljene iz kombinacije ceste, pešpoti, železnice, kanalov ali letališke vzletno-pristajalne steze. Mostovi, predori, podvozi, nadvozi ali kombinacija teh predstavljajo del rešitve, zgrajene na križanju prometnih poti v različnih nivojih. (Citirano: http://sl.wikipedia.org/wiki/Izvennivojsko_kri%C5%BEanje)

Večnivojska križanja cest se načrtujejo na stičiščih cest istega ali različnega ranga, kjer zaradi ranga cest v stičišču ali zaradi prometnih obremenitev nivojska križišča niso dopustna. Ohranjanje kontinuirnih prometnih tokov tako zahteva prostorsko ločitev križajočih se tokov, s čimer dosežemo povečanje varnosti in prepustnosti. Ponavadi so zgrajena na daljinskih cestah in tam, kjer nivojsko križišče ne zagotavlja s tehniškim predpisom predvidenega nivoja uslug.

(Citirano: http://sl.wikipedia.org/wiki/Izvennivojsko_kri%C5%BEanje)

4.1 Sestavine večnivojskih križišč



Slika 18: Sestavine večnivojskih križišč

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Autobahnkreuz-Bauteile.png>

Uvozna in izvozna območja

Uvozno območje sestoji iz pospeševalnega dela, ki povezuje uvozno rampo z avtocesto, vključevalnega dela, ki omogoča prehod iz pospeševalnega pasu na vozni pas ter prehodnega dela, na katerem je označen obvezen prehod na vozni pas primarne ceste (povzeto po TSC 03.343).

Izvozno območje sestoji iz prehodnega dela namenjenega za prehod z voznega pasu primarne ceste na zaviralni pas in zaviralnega pasu, ki povezuje avtocesto z izvozno rampo. Običajno ima vsako smerno vozišče uvozno in izvozno območje (povzeto po TSC 03.343).

Ta območja, za katera so značilne dokaj velike spremembe voznih hitrosti pri izključevanju in vključevanju, morajo biti postavljena in dimenzionirana tako, da promet na glavni smeri poteka čim bolj neovirano in varno. Pospeševanje in zaviranje se odvijata na ločenih pasovih, tako da se lahko vozila neovirano vključijo in izključijo iz prometnega toka in pri tem ne ovirajo vozil na glavni smeri.

Razdelilne – servisne ceste

Servisne ceste predstavljajo povezavo med izvoznim in uvoznim območjem in potekajo fizično ločeno od glavnega prometnega toka na avtocesti. Potrebne so tam, kjer je uvoznih in izvoznih območij iz in na glavno smer več in tam, kjer so prometne količine na glavni smeri ter v odcepnih in priključnih smereh zelo velike. Na tako urejenih območjih se tudi prepletanja odvijajo ločeno od glavne smeri (povzeto po: <http://de.wikipedia.org/wiki/Autobahnkreuz>).

Z izgradnjo servisne ceste se varnost na glavni smeri poveča. Predvsem pa se na območju večnivojskega križišča na ta način povečajo prepustnost (višji nivo uslug) in tudi vozne hitrosti.

Območja prepletanja

Na območjih prepletanja se križata uvozni in izvozni prometni tok vozlišča. Na tem mestu pride do konfliktnih situacij med obema prometnima tokovoma. Ker so dolžine teh območij razmeroma kratke, promet pa je ponavadi dokaj velik, so to pogosto tudi območja prometnih nesreč. Če zagotovimo dovolj majhne hitrosti vozil že pred vstopom na območje prepletanja, se promet odvija varneje in bolj tekoče. V primeru razmeroma velikega prometa je treba to območje ločiti od glavnega prometnega toka, da bi dosegli večjo varnost in boljšo prepustnost vseh voznih površin v vozlišču. Velja pa, da je treba vozlišča in še posebej posamezna območja v njem načrtovati zelo pozorno (Maher T. 2007).

Pri zaporednih uvoznem in izvoznem pasu 2 zaporednih križišč, ki sta med seboj oddaljeni manj kot 2,2 km, se pojavi vprašanje zadostnosti razdalje od konca izvoznega prvega do začetka uvoznega pasu drugega križišča. Zadostnost, ki je odvisna od količine prometa in razdalje ter izbrane predvidene hitrosti, se preverja s prometnim dimenzioniranjem izvoznega in uvoznega območja. Če izračun pokaže, da doseženi nivo uslug ni zadosten, je treba ali priključka razmakniti ali pa med priključkoma uvozni in izvozni pas povezati z dodatnim (povezovalnim) pasom. Nivo uslug se potem izračuna s prometnim dimenzioniranjem za prepletanje (TSC 03.343)

Če sta konec uvoznega in začetek izvoznega pasu 2 zaporednih križišč bližje skupaj kot 600m, je treba uvozni in izvozni pas vedno povezati z dodatnim (povezovalnim) pasom (TSC 03.343).

Povezovalne rampe

Uvozi in izvozi so s povezovalnimi rampami povezani med seboj in s preostalo cestno mrežo. Ločimo med direktnimi, poldirektnimi in indirektnimi rampami, njihova oblika pa določa značilno obliko vozlišča. Najboljšo prepustnost omogočajo direktne rampe, ker so na njih vozne hitrosti praviloma višje, najslabšo pa indirektno rampe, pri katerih so geometrijski elementi osi praviloma bolj skromni (povzeto po: TSC 03.343).

Razlikujemo še med rampami, ki povezujejo dve avtocesti ali avtocesto in hitro cesto, in rampami, ki povezujejo avtocesto ali hitro cesto s cesto nižjega ranga (Trdin I. 2000).

Vodenje ramp je v prostoru lahko prosto oz. neprilagojeno, če v prostoru ni fizičnih (grajeni objekti) ali drugih (npr. prostorskih) ovir. V nasprotnem primeru, pa je treba rampe prilagoditi objektom v neposredni bližini. Takrat govorimo o prilagojenem vodenju ramp, ki je zelo pogosto prisotno pri bolj zapletenih oblikah večnivojskih križišč. Povezovalne rampe so različne pri priključkih in vozliščih, predvsem zaradi različnih računskih hitrosti. Na priključkih in podrejenih rampah v vozliščih morajo omogočati minimalno hitrost 40 km/h, na vozliščih pa hitrost, ki je za do 20 km/h manjša od hitrosti na primarni cesti, da se doseže dovolj visok nivo uslug, ker gre za površine, ki morajo omogočati nemoten prometni tok tudi v odcepnih smereh (povzeto po TSC 03.343).

Premostitveni objekti

Za izvedbo večnivojskega križanja nujno potrebujemo tudi premostitvene objekte. So najdražji del križanj in zato pomemben faktor pri izbiri oblike, saj za različne gradbene oblike potrebujemo različno število objektov, glede na obliko pa se razlikujejo tudi po dolžini, višini in širini (povzeto po: <http://de.wikipedia.org/wiki/Autobahnkreuz>).

4.2 Večnivojski priključek

Večnivojski priključek povezuje cesto ali cestno omrežje nižjega ranga s cesto višjega. Vožnja v glavni smeri je neovirana, medtem ko imamo na podrejeni smeri ponavadi nivojska križišča preko katerih se rampe povežejo z ostalo cestno mrežo. Rampe so navadno projektirane za hitrosti 40 ali 60 km/h. Izbiro oblike pa določajo prometne obremenitve in njihova razporejenost po smereh (Povzeto po Projektovanje puteva).



Slika 19: Večnivojski priključek Celje center

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

4.3 Večnivojsko vozlišče

V cestnem vozlišču se stika več cest enake ali tej najbližje kategorije. Vožnja v vseh smereh, ki so v vozlišču prometno enakovredne, poteka brez ustavljanj. Glede na prometno najbolj obremenjene smeri, količino prometa in projektne hitrosti določimo obliko vozlišča. Računske hitrosti na rampah so praviloma vedno višje od tistih na rampah v priključkih, ki so precej nižje od hitrosti na glavni smeri. Privzeta računsko hitrost na rampah vozlišča je praviloma največ do 20 km/h nižja od hitrosti na odprti cesti. Najpogosteje je med 80 km/h in 100 km/h. Kadar so rampe vodene v omejenem prostoru pa določene oblike zahtevajo tudi nižje hitrosti za določene smeri potovanja (npr. pentlje deteljice), (povzeto po Projektovanje puteva).



Slika 19: Večnivojsko vozlišče Zadobrova pri Ljubljani

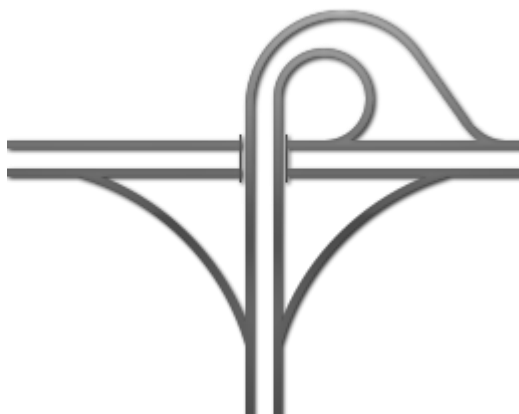
Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

4.4 Sistemi in oblike večnivojskih križišč

Ločimo križišča s tremi stikajočimi smermi in s štirimi smermi, zaradi tega se med seboj zelo razlikujejo in jih bomo obravnavali ločeno.

Tri smeri v križišču

4.4.1 »Trobenta« (slika 20)

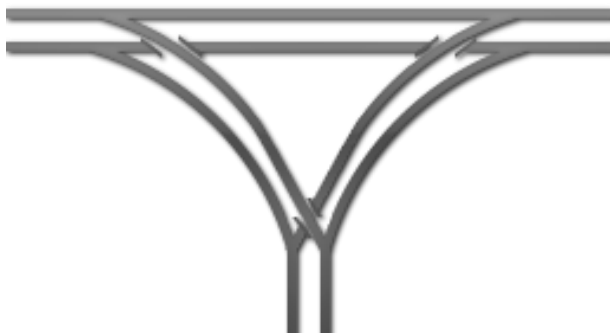


Slika 20: »Trobenta«

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Knooppunt_trompet.png

Pri t.i. trobenti imamo 2 direktni rampi, ki ne prečkata glavne smeri, eno poldirektno in eno indirektno, ki pa prečkata glavno smer z enim objektom. Ta oblika je cenovno ugodna, porabi dokaj malo prostora in omogoča razmeroma velike izvozne hitrosti iz glavne smeri, če je obrnjena v desno kot na zgornji sliki. V katero smer je obrnjena pa določajo še razporeditev prometnih obremenitev, kot križanja in pogoji preglednosti. Ta oblika je tudi zelo ugodna za priključke na avtocestah, kjer se cestnina plačuje na cestninskih postajah, saj je na takšnem priključku potrebna le ena postaja (Projektovanje puteva). V Sloveniji so takšni priključki zelo pogosti (npr. Brezovica, Dramlje, Vrhnika). Ko to obliko uporabimo za vozlišče, se sekundarna smer nadaljuje kot samostojna in se ne preko križišča navezuje na prometnico nižjega reda. Praviloma je vozlišče oblike trobenta konstruirano za večje hitrosti kot priključek tovrstne oblike. Uporaba za vozlišče je primerna, kadar je prometna obremenitev na sekundarni smeri občutno manjša kot na glavni. Vozlišče v obliki leve trobente je razcep Gabrk na primorski avtocesti, od katere se odcepi kraška avtocesta.

4.4.2 »Trikotnik« (slika 21)

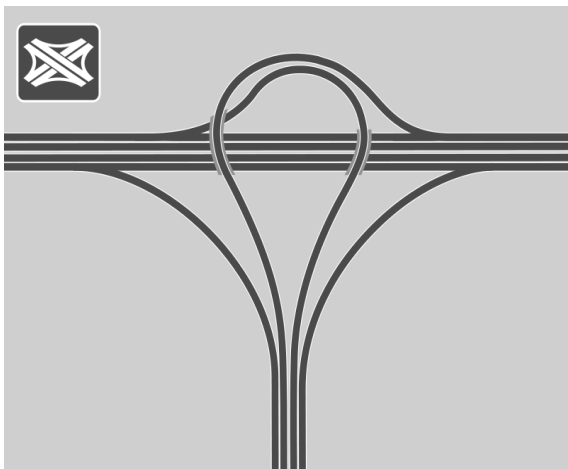


Slika 21: »Trikotnik«

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Knooppunt_driehoek.png

Križišče te oblike zahteva večje število objektov kot trobenta, večkrat tudi v dveh nivojih. Z uporabo primernih geometrijskih elementov pa so lahko hitrosti v vseh smereh sorazmerno velike in tako omogoča najvišji nivo uslug. Zaradi večjih investicijskih stroškov se ta oblika uporabi le v križiščih močno obremenjenih prometnih smeri. Rampe v vseh smereh so direktne (Projektovanje puteva). To izvedbo imamo na razcepu Malence na jugovzhodu Ljubljane, kjer se stikajo vzhodna in južna avtocesta mesta Ljubljane in dolenska avtocesta.

4.4.3 »Hruška« (slika 22)

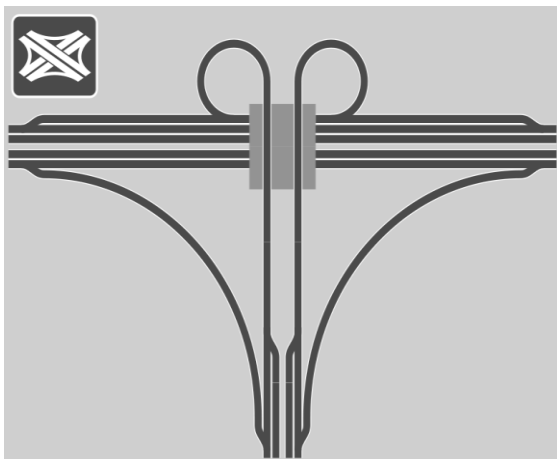


Slika 22: »Hruška«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AD-birne.svg>

Ta oblika pride do izraza predvsem tam, kjer je prostora relativno malo, želimo pa kljub temu doseči čim večje hitrosti na rampah. Potrebna sta dva objekta, dve rampi sta poldirektni, dve pa direktni. Ta oblika je uporabljena na razcepu Koseze na severozahodu Ljubljane.

4.4.4 »Polovična deteljica« (slika 23)



Slika 23: »Polovična deteljica«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AD-Kleeblatt.jpg>

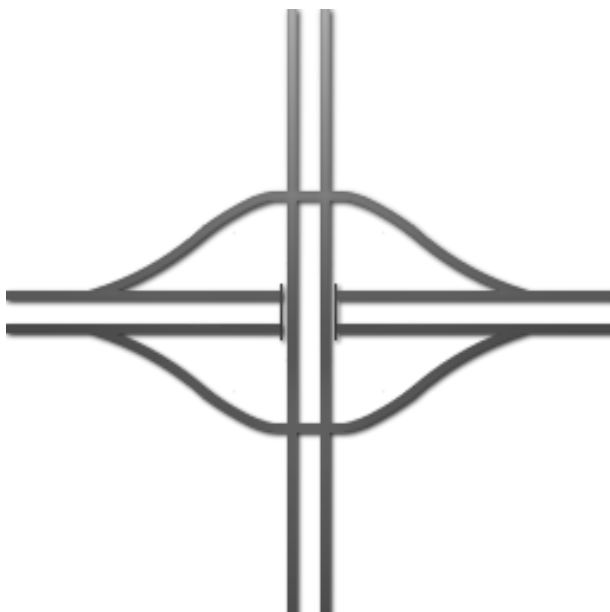
V tem primeru imamo 2 indirektni rampi in 2 direktni. Hitrosti na indirektnih sta navadno občutno manjši, rabimo pa le en objekt nad avtocesto. Za sodobne prometne obremenitve je dolžina za prepletanje prekratka, zato se odcepna in priključna rampa, odvisno od količine prometa, vodita fizično ločeno od primarne smeri.

Štiri smeri v križišču

4.4.5 »Romb«

Pri večnivojskem križišču v obliki romba poznamo več različnih načinov izvedbe. Vsem je skupno, da se uvozne in izvozne rampe stikajo z avtocesto pod dokaj majhnim kotom, s podrejeno cesto pa se križajo skoraj pravokotno. Zavzamejo malo prostora in so enostavni ter zato primerni za uporabo v mestnih območjih.

4.4.5.1 »Diamant« (slika 24)

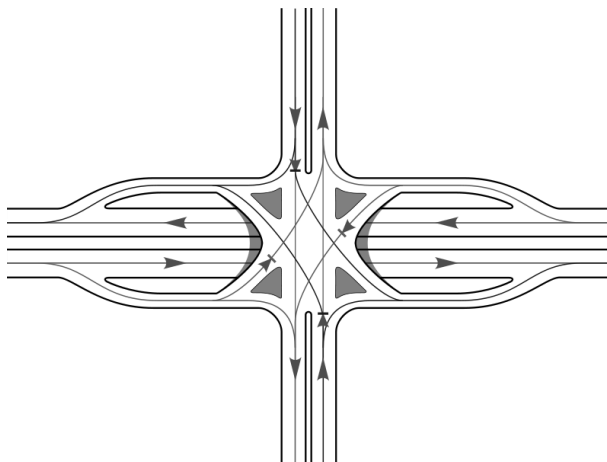


Slika 24: »Diamant«

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Knooppunt_haarlemmermeer.png

Ta oblika dobro funkcioniira pri majhni količini prometa na stranski cesti. Zahteva le en objekt in dokaj kratke, direktne rampe. Križišča na podrejeni smeri so lahko nesemaforizirana, semaforizirana, lahko pa imamo dve krožišči. Včasih se zaradi izboljšanja pogojev križišči zelo razmakne, kjer pa to ni možno jih pa zelo približamo in v naslednji fazi dobimo drugačen tip križanja. Ta oblika je pogosto uporabljena v povezavi s servisnimi (razdelilnimi) cestami (severna avtocesta mesta Ljubljane). Izvedbe diamant so npr. priključki Arja vas, Šentrupert, LJ Bežigrad, LJ Bizovik.

4.4.5.2 Točkovno urbano križišče (slika 25)

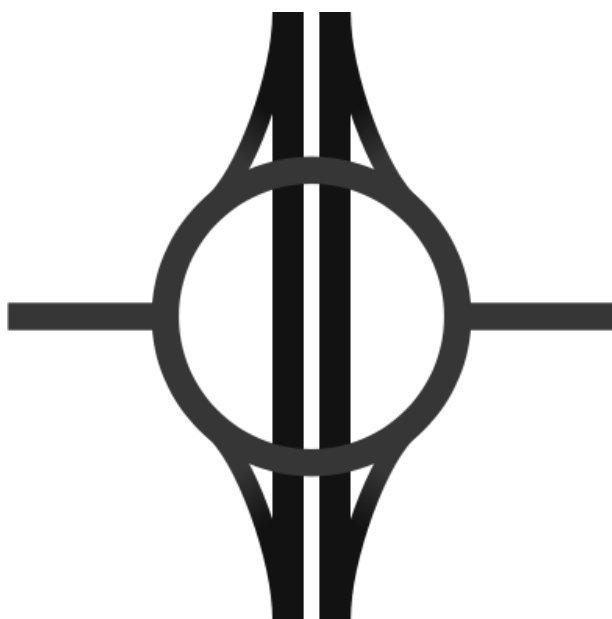


Slika 25: Točkovno urbano križišče

Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spui-schematic.svg>

Te rešitve se poslužujemo v urbanih območjih, saj s koordinirano signalizacijo omogočajo dobro pretočnost prometa. Potreben je večji objekt nad avtocesto in semaforske naprave, drugače pa ni posebno zahtevne oblike in zavzame relativno malo prostora, je pa praviloma vedno semaforiziran. Tako je izveden priključek LJ Šentvid.

4.4.5.3 Krožišče (slika 26)



Slika 26: Krožišče

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Salida_autovia_a_rotonda.svg

Pri tem tipu rabimo dva objekta za premoščanje glavne smeri. Porabi malo več prostora, je pa ugoden za promet na podrejeni cesti. V krožni promet lahko vključimo še kakšen dodaten krak, v kolikor je to, zaradi ostale cestne mreže, potrebno. Tovrstne izvedbe je zelo poznan priključek Ljubljana Tomačevo, kjer pa je bil krožni promet v zadnji rekonstrukciji, zaradi velikih prometnih obremenitev, semaforiziran.

4.4.6 »Polovična deteljica« (slika 27)

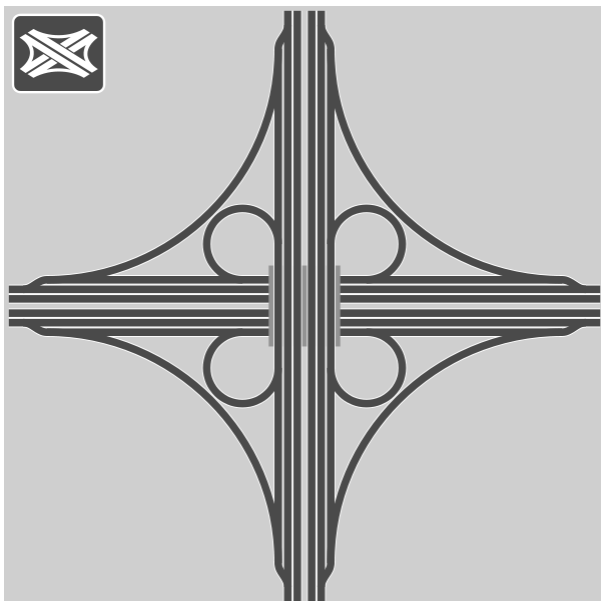


Slika 27: »Polovična deteljica«

Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Halfklaverbladaansluiting.png>

Priključek te oblike zavzame več prostora kot prejšnji primeri, je pa ugoden za primere, ko imamo močan prometni tok na sekundarni cesti. Z umeščanjem ramp v različne kvadrante, optimiramo hitrosti na rampah glede na količino prometa v posameznih smereh. Od tega je odvisno tudi kje bodo potekale direktne in kje indirektna rampe in kakšna je oblika. Pri simetrični imamo en zavijalni pas na objektu (kot na sliki 27) pri nesimetrični pa na objektu ni zavijalnih pasov, v kolikor jo sestavljata dve desni trobenti ali pa sta zavijalna pasova dva, če jo sestavljata dve levi trobenti. Križišči na sekundarni cesti sta lahko semaforizirani v kolikor je to potrebno (povzeto po TSC 03.343). Takšna izvedba je npr. na priključkih Vransko, Unec, Maribor center.

4.4.7 »Deteljica« (slika 28)

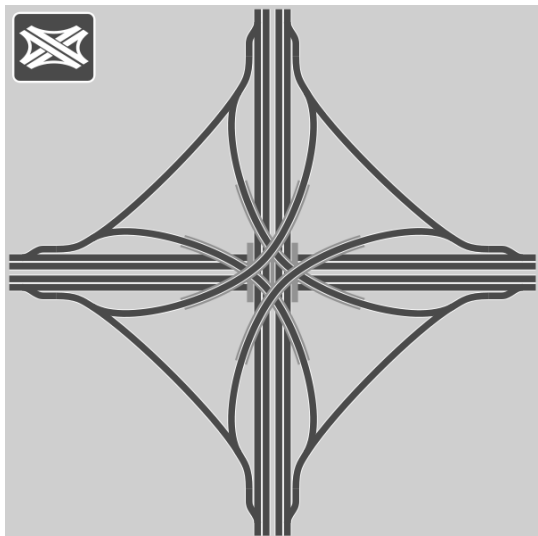


Slika 28: »Deteljica«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-Kleeblatt.svg>

Deteljica je ena izmed starejših oblik avtocestnih dvonivojskih križišč, ki ima kar nekaj dobrih lastnosti. Možno je obrniti smer in peljati nazaj v isto smer iz katere se pripelje. To je možno z vožnjo preko dveh indirektnih ramp. Potreben je le eden razmeroma kratek premostitveni objekt. Križišče sestavljajo 4 direktna in 4 indirektna ramena, poraba prostora pa je precej velika, saj morajo tudi indirektna ramena zagotavljati vsaj minimalno hitrost 40 km/h in temu primerne geometrijske elemente. Poznamo pa še posamezne modifikacije z dodatnimi rampami. Glavna pomanjkljivost te izvedbe pa so prekratke dolžine za prepletanje prometnih tokov, ki menjujejo avtocesto. Zaradi tega se takšna križišča redko gradijo na novo, se pa še načrtujejo z določenimi ukrepi in kjer ni prometna obremenitev pretirana. Ponavadi se loči pas za prepletanje od smeri, ki ne prepletajo, če je prostor, se poveča polmer indirektnih ramp obenem pa se uvozi in izvozi čimbolj razmaknejo, da se pridobi na uporabni dolžini za prepletanje. Lahko se tudi spremeni oblika na način, da namesto indirektnih ramp zgradimo poldirektna in direktna, a to je že potem naslednja oblika križanja (povzeto po <http://de.wikipedia.org/wiki/Autobahnkreuz>).

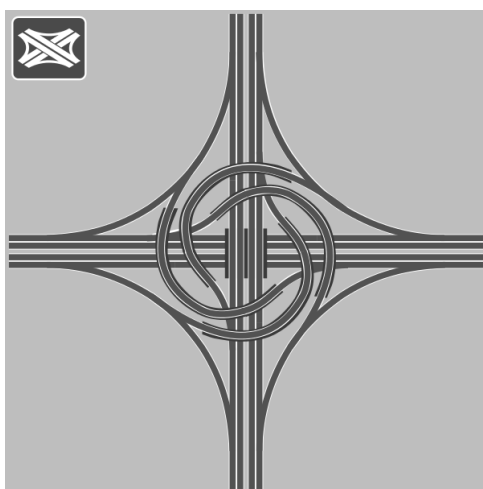
4.4.8 »Malteški križ« (slika 29) in »turbina« (slika 30)



Slika 29: »Malteški križ«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-Malteser.svg>

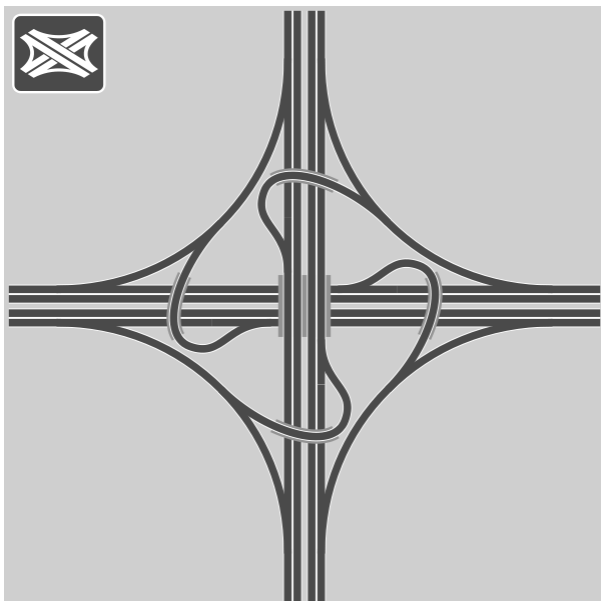
Pri obliki malteški križ imamo 4 direktne in 4 pol direktne rampe, ki omogočajo večje hitrosti v vseh smereh kot deteljica. Ni težav s prepletanjem, saj gre za povsem ločeno vpletanje in izpletanje prometnih tokov. Je pa ta oblika občutno dražja, saj je potrebno veliko število objektov, rampe potekajo v 4 nivojih in zato je celotna konstrukcija zelo visoka. Poznamo še več modifikacij, ki imajo podobne lastnosti pri vodenju tokov, npr. tip križanja turbina. Ta prav tako omogoča večje hitrosti kot deteljica, a ne potrebuje tako visokih objektov kot malteški križ, so pa potrebni daljši oz. jih mora biti več. Obema rešitvama je skupna velika poraba prostora in dokaj visoki objekti (povzeto po <http://de.wikipedia.org/wiki/Autobahnkreuz>).



Slika 30: »Turbina«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-Turbine-5Bruecken.svg>

4.4.9 »Mlin na veter« (slika 31)



Slika 31: »Mlin na veter«

Vir: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-Windm%C3%BChle.svg>

Tudi v tem primeru imamo 4 direktne in 4 poldirektne rampe, ki pa se priključijo novi smeri še pred točko križanja obeh avtocest. Zaradi tega so hitrosti na poldirektnih rampah navadno manjše kot pri prejšnjih dveh primerih, poraba prostora pa je navadno večja kot pri križišču v obliki deteljice.

4.5 Uporabnost različnih oblik večnivojskih križišč

Predstavljene oblike so le pregled najpogostejših in osnovnih primerov izvedbe. Nekatere so primernejše za izvedbo priključkov, druge za avtocestna križišča, nekatere pa za rešitev v obeh primerih. V preglednici je z ocenami primerno, pogojno in neprimerno pokazana uporabnost posameznih oblik.

Preglednica 3: Primernost oblik večnivojskih križišč (Vir: Projektovanje puteva)

Oblika	Kot priključek	Kot vozlišče
Trobenta	Primerno	Primerno
Triangel	Neprimerno	Primerno
Hruška	Pogojno primerno	Primerno
Polovična deteljica	Primerno	Pogojno primerno
Diamant	Primerno	Neprimerno
Točkovno urbano križišče	Primerno	Neprimerno
Krožišče	Primerno	Pogojno primerno
Deteljica	Neprimerno	Primerno
Malteški križ	Neprimerno	Primerno
Turbina	Neprimerno	Primerno
Mlin na veter	Neprimerno	Primerno

Obstaja še mnogo (preko 250, vir: A. Juvanc) drugačnih oblik, ki so smiselne kombinacije prej opisanih. Sama oblika križišča niti ni najpomembnejša. Važno je, da se izbere tako obliko, da z njo v vseh smereh zagotovimo ustrezen nivo uslug in čim večjo prometno varnost. Tipske oblike se uporabljajo zelo pogosto; pravzaprav v večini primerov, če le ni kapaciteta posamezne rampe prekoračena. Kadar pa so prometni tokovi po smereh veliki in močno neenakomerno razporejeni, kar vpliva tako na prepustnost križišča kot na prometno varnost v njem, ali pa so prostorske možnosti za umestitev križišča zelo omejene, je treba za vsak primer posebej skonstruirati unikatno obliko.

Izbira sprejemljivih oblik vozlišča za naš primer

Za naš primer, ki na prvem nivoju obsega spoj avtoceste z glavno mestno cesto, na drugem pa priključevanje okoliškega prostora (regionalna cesta s smeri Iga, promet v NS Rudnik, Peruzzijska ulica), smo med možnimi izbrali take oblike vozlišča, pri katerih rampe sledijo predvidenim prometnim tokovom in zagotavljanju potrebne vozne hitrosti na posamezni rampi ter omogočajo čim bolj tekoče priključevanje in izključevanje sekundarnih prometnih tokov. Načeloma naj se sekundarni tokovi priključujejo in odcepljajo na območju GMC, lahko pa tudi na posameznih rampah vozlišča. Če se priključujejo ali odcepljajo na rampah, je treba spojna mesta zasnovati tako, da zaradi spoja ne bo povzročeno povečanje prometne nevarnosti, zmanjšanje kapacitete posamezne rampe in hitrosti na njej. Sekundarni tokovi se na GMC lahko priključujejo in odcepljajo tudi enonivojsko.

V nadaljevanju navedene oblike vozlišča bo treba smiselno prirediti danim prometnim pogojem in prostorskim možnostim, pri čemer je treba upoštevati, da je izbira oblike pogojena tudi z višinskim

vodenjem ramp v prostoru. Potrebna je namreč zadostna dolžina zaradi omejitev, ki nam jih za umestitev posamezne rampe določata maksimalni dopustni vzdolžni nagib s_{maxdop} in minimalni radij vertikalne konveksne zaokrožitve $r_{kvmindop}$.

- **Trobenta:** Omogoča dokaj velike hitrosti na izvozu z avtoceste, glavna mestna cesta se priključuje na avtocesto, ostala območja lahko priključujemo na glavno mestno cesto tudi drugje.
- **Deteljica:** Če povežemo območje Iga direktno z glavno mestno cesto imamo 4 krako križišče, ki bi ga lahko uredili z deteljico, potrebna je kontrola dolžin za prepletanje.
- **Krožni promet:** Nad avtocesto zgradimo krožni promet in rampe speljemo nad nivo avtoceste. Potrebna je kontrola količine prometa, ki prihaja z avtoceste, da ne bi prihajalo do zastojev.

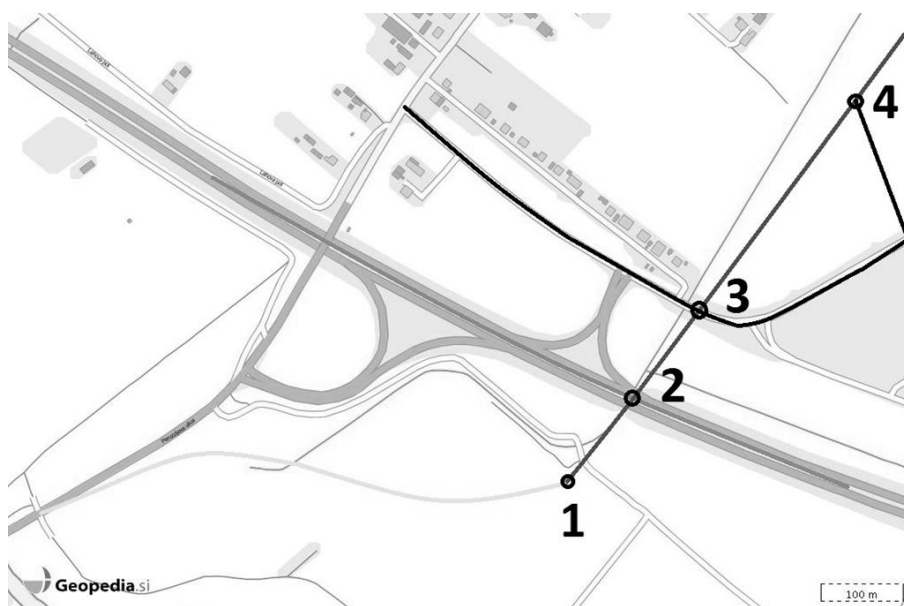
Za izbrane oblike smo izdelali 4 variante pri katerih imamo več podvariant. Pri variantah 1 in 2 so izdelane po 3 podvariante, pri varianti 3 sta 2 podvarianti, pri varianti 4 pa le ena.

5 IDEJNA ZASNOVA VARIANT VOZLIŠČA

Obstoječi priključek LJ Rudnik bo po povečanju prometnih obremenitev in dopolnitvi cestne mreže neučinkovit in neprimeren. Zato bomo poiskali takšno rešitev, ki bo sposobna prevzeti funkcije v spremenjeni situaciji. Prometne obremenitve na posameznih smereh in kategorije cest narekujejo spremembo oblike in funkcije iz priključka v vozlišče.

5.1 Stične točke vozlišča

Na območju današnjega priključka lahko definiramo nekaj značilnih stičnih točk posameznih smeri, ki bodo vzpostavljene po dograditvi cestne mreže. Za vse te točke ni nujno, da bodo realizirane v vsaki varianti, nam pa določijo osnovo, katere se moramo vsaj okvirno držati, da lahko uspešno konstruiramo zasnovo vozlišča.



Slika 32: Značilne točke vozlišča

Vir: http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_x499072_y112072_s9_b4

Stične točke definiramo kot je razvidno s slike 32.

1. Prva točka pomeni stik glavne mestne ceste z regionalno cesto iz smeri Iga
2. Druga točka je križanje glavne mestne ceste z avtocesto
3. Tretja je križanje glavne mestne ceste s Peruzzijevno, ki navezuje dele mesta na ostalo mrežo
4. Četrta pa je stik glavne mestne ceste z ločenim priključkom za nakupovalno središče Rudnik

Odločimo se lahko, da v okviru vozlišča obravnavamo le točko 2 in zanemarimo točki 1 in 3. V tem primeru je treba priključek, ki bo povezal točki 1 in 2 z avtocesto narediti ločeno.

Lahko naredimo kombinacijo, kjer priključek kombiniramo na severni strani in tako rešimo točki 2 in 3, za povezavo prve pa uporabimo obstoječi nadvoz.

Lahko pa naredimo 4 krako križanje in vse tri točke rešimo že v okviru samega razcepa in ga nato s priključkom kombiniramo na severni in južni strani.

Točka 4 pa je neizogibno potrebna v primerih, ko točki 1 in 3 rešujemo ločeno. Seveda pa posamezne rešitve potrebujejo to križanje tudi, če priključek kombiniramo z razcepom. Pomembno je še poudariti hierarhijo priključevanja. Pri oblikah, ki rešujejo povezovanje NS Rudnik ločeno, bi bilo treba to območje najprej speljati na GMC in šele v naslednji fazi na AC.

5.2 Koračno načrtovanje posameznih variant

K načrtovanju variant smo pristopili postopoma. Najprej smo rešili problem povezave glavne mestne ceste z avtocesto. Nato pa smo povezovanje NS Rudnik, Iga in Peruzzijske podredili tej povezavi. Izbrali smo tri značilne načine vodenja povezav in jih združili v 4 sklope podvariant. Vsak značilni potek oz. sistem vodenja povezav je označen s prvo številko, podvarianta oz. oblika pa z drugo.

Pri načrtovanju novega avtocestnega vozlišča smo imeli v mislih predvsem iskanje oblike. To lahko koreliramo z javnim natečajem v arhitekturi, ki nam poda obliko, formo bodoče zgradbe in določi vitalne dele objekta in njihovo vlogo. V prometnem inženirstvu pa so v povezavi z obliko prisotni še dodatni vidiki, ki odločilno vplivajo na primernost izbire. To so prometna zmogljivost bodočega objekta, možnost stroškovno učinkovite izgradnje, prometna varnost območja in nenazadnje, z vidika krajinske arhitekture, primernost posega v prostor.

Šele po izbiri primerne oblike, lahko pride do javnega razpisa za izvedbo idejnega projekta, v katerem se ta izbrana oblika izpili in dimenzionira za dane prometne obremenitve. Pri tem imamo že natančnost naslednje stopnje, torej projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja. Od tu naprej so postopki ustaljeni, pri izbiri osnovne oblike pa se ponavadi projektanti ne zadržijo predolgo. Čeprav je že pri izbiri oblike ponavadi potrebno narediti nekaj korakov naprej v smislu prometne in gradbene preveritve, se ponavadi kar izbere oblika, nato pa se jo dimenzionira, kar pa pomeni, da bi lahko izbira drugačne oblike zmanjšala potrebne finančne vložke za gradnjo.

Pričujoča naloga pa je še posebej zahtevna zaradi kombiniranja avtocestnega razcepa in avtocestnega priključka v vozlišče, ki bo služilo večim različnim prometnim funkcijam.

V naslednjih točkah so prikazani koraki pri načrtovanju posameznih podvariant in pripadajoči opisi. Pri nekaterih podvariantah se posamezni koraki ne razlikujejo in zato skice niso ponovljene, je pa opisano, kateri korak je identičen. Poleg predstavljenih podvariant smo se ukvarjali tudi z drugačnimi rešitvami in načini vodenja povezav. Vendar je že primarna ocena primernosti, glede na prometne obremenitve, prostorske pogoje in prometno funkcijo preprečila, da bi jih vključili v primarni izbor podvariant. Uporabo programa AutoCAD Civil 3D 2012 smo si olajšali z uporabniškim priročnikom za tečaj (Leban L. 2009).

5.2.1 Varianta 1-1



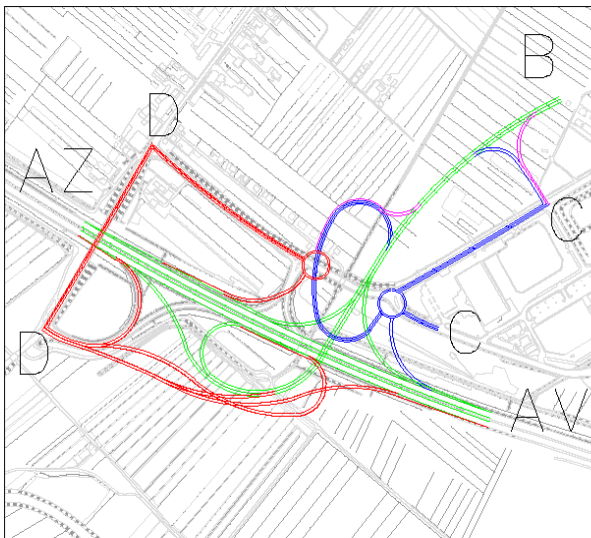
V prvem koraku uredimo povezavo glavne mestne ceste z avtocesto. Predvidimo vozlišče v obliki desne trobente, da so izvozne hitrosti večje od uvoznih, elementi izvoznih ramp dopuščajo hitrost 60 km/h. Nad avtocesto imamo en premostitveni objekt.

V naslednjem koraku povežemo nakupovalno območje Rudnik z glavno mestno cesto. Preko nje je povezano tudi z avtocesto. Povezava v bližini avtoceste poteka pod nadvozom preko avtoceste, ki se nadaljuje proti severu. Tudi severna uvozna in izvozna rampa potekata po nadvozu preko povezovalne ceste Rudnika z glavno mestno cesto (modro). Zaradi velikega števila tovornih vozil iz smeri AV se od rampe na glavno mestno cesto odcepi ločena direktna rampa, ki vodi v krožišče v nakupovalnem območju.

V zadnjem koraku povežemo območje Iga z glavno mestno cesto in avtocesto. Na južni strani je možen uvoz in izvoz na AC, medtem ko je za dostop na severno stran in iz nje potrebna vožnja po Peruzzijevi in uporaba obstoječega nadvoza preko AC. Z glavne mestne ceste proti Igu je prav tako potrebno peljati preko obstoječega nadvoza. Na stiku Peruzzijeve in povezave Rudnika z glavno mestno cesto prav tako predvidimo krožišče (rdeče).

Slika 33: Koraki variante 1-1

5.2.2 Varianta 1-2



Slika 34: Koraki variante 1-2

V tej varianti imamo razliko le v zadnjem koraku, ko dodamo še povezavo iz glavne mestne ceste proti Igu, in sicer vozila vozijo kot bi se vključevala na AC, potem pa jim preko dodatne rampe omogočimo vožnjo pod uvoznim krakom iz smeri Iga na AC in GMC, ki morata zato potekati po premostitvenih objektih, ter priključitev k izvozni rampi iz avtoceste proti Igu. Dodana je še rampa na severni strani, za direkten uvoz iz Peruzzijske na AC.

5.2.3 Varianta 1-3

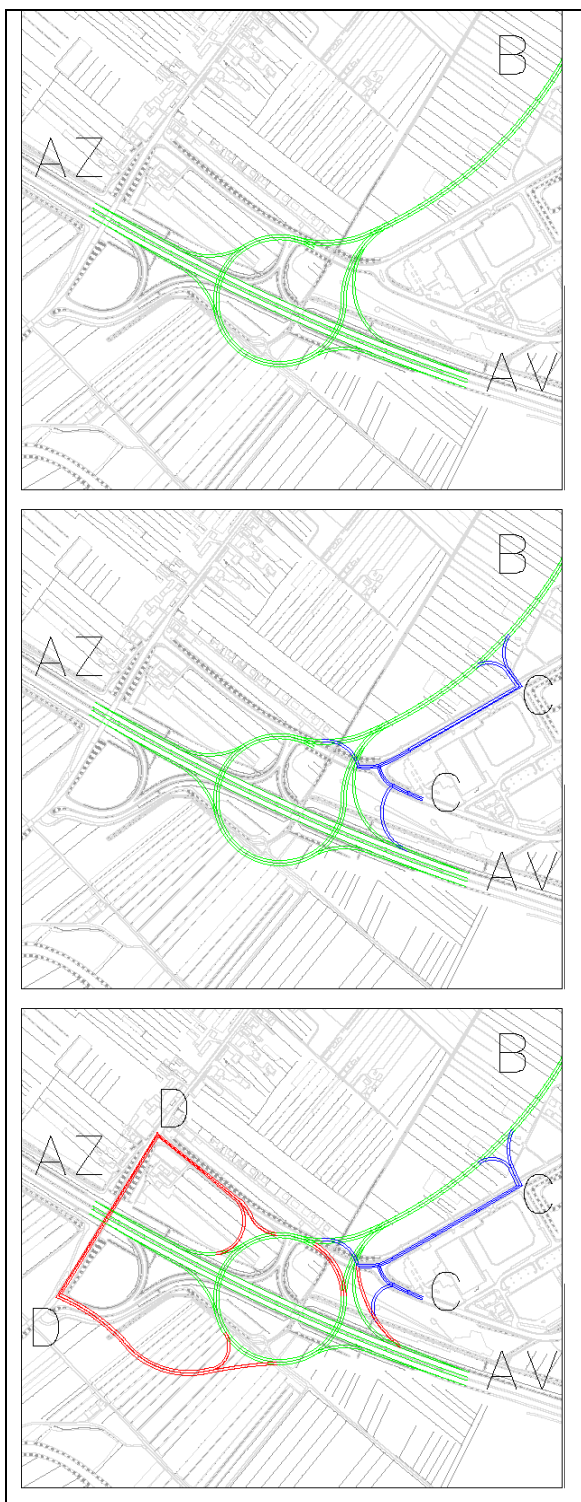


Slika 35: Koraki variante 1-3

V tej podvarianti naredimo v drugem koraku polni priključek na GMC ločeno od vozlišča, ohranimo pa še direktno povezavo iz smeri AV proti Rudniku. Dodatni polni priključek pomeni tudi dodaten premostitveni objekt. Prvi korak je enak kot v podvarianti 1-1. Zaradi večje zmogljivosti na tem mestu ni izbrano klasično križišče namesto dvonivojskega priključka

V zadnjem koraku pa imamo podobno situacijo kot pri podvarianti 1-2. Dodana je rampa iz glavne mestne ceste proti Igu, ki dvakrat preči rampo iz Iga proti AV, priključevanje nakupovalnega območja območja Rudnik, pa je, kot že rečeno, rešeno ločeno.

5.2.4 Varianta 2-1



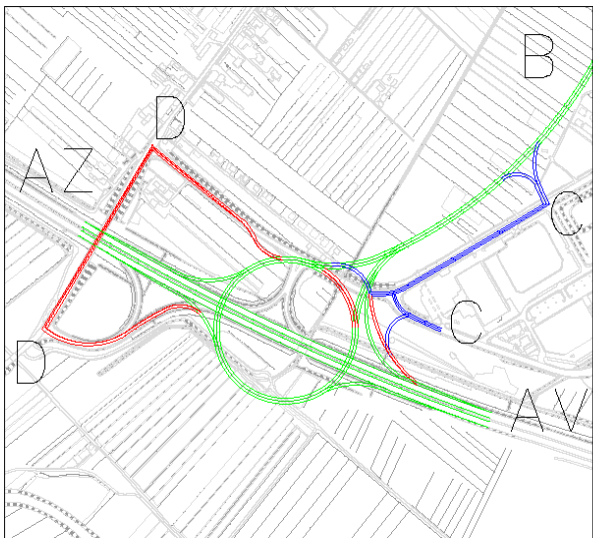
Slika 36: Koraki variante 2-1

V tej varianti smo izbrali krožni promet, ki poteka nad avtocesto preko dveh nadvozov. Podoben sistem imamo v krožnem prometu Tomačevo na ljubljanski severni obvoznici, le da je tukaj radij malenkost večji zaradi predvidenih prometnih obremenitev. V prvem koraku tako povežemo avtocesto z glavno mestno cesto

V drugem koraku naredimo direktno izvozno rampo iz smeri AV proti Rudniku. Iz Rudnika na krožni promet pridemo z vožnjo pod nadvozom preko katerega poteka rampa iz smeri AV proti B in iz smeri AZ proti B. Severovzhodneje imamo izvoz iz GMC za dostop do Rudnika iz smeri AZ, kot tudi iz Rudnika proti severu Ljubljane.

V zadnjem koraku povežemo Peruzzijsvo in Ig z krožnim prometom in dodamo rampo iz smeri AV proti krožnem prometu, ki se priključi rampi iz smeri C na krožni promet. Za povezavo iz smeri glavne mestne ceste v nakupovalno središče uporabimo obstoječi priključek iz Jurčkove, ali pa je treba voziti preko krožnega prometa in nazaj proti severu.

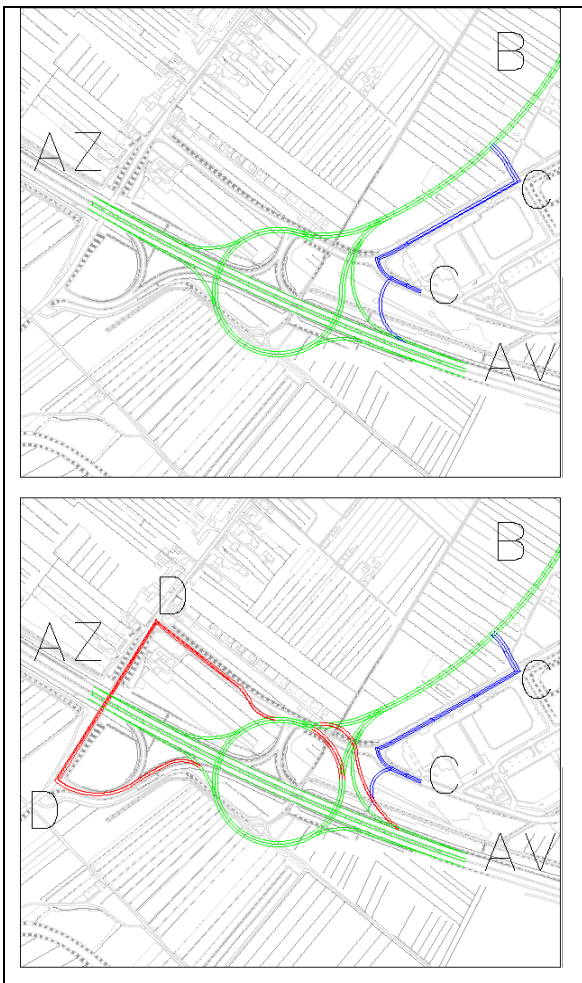
5.2.5 Varianta 2-2



Slika 37: Koraki variante 2-2

Ta podvarianta se razlikuje le v zadnjem koraku, ko dopuščamo le en uvoz na krožni promet za pot iz Peruzzijske in Iga ter le en izvoz iz krožnega prometa za vožnjo proti Igu in Peruzzijski. Prav tako imata povezavi krožni promet-Peruzzijska in Ig-krožni promet malenkost spremenjen potek.

5.2.6 Varianta 2-3

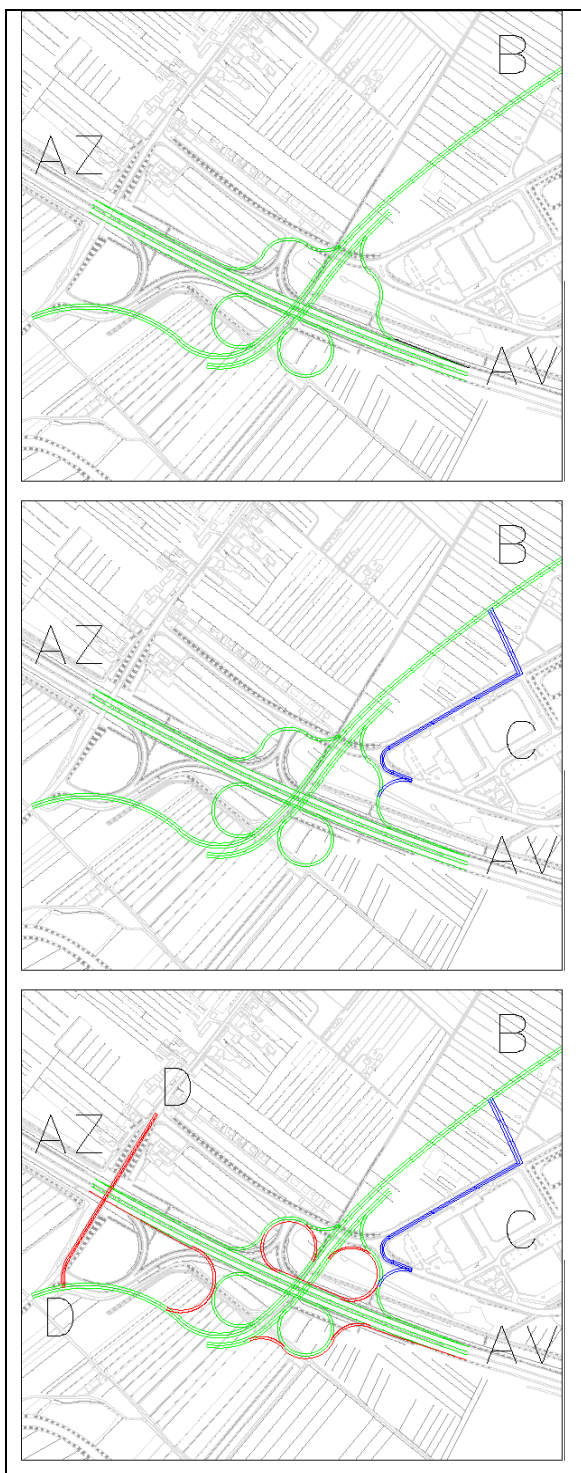


Slika 38: Koraki variante 2-3

V podvarianti 2-3 v drugem koraku predvidimo križišče glavne mestne ceste z dostopno cesto za nakupovalno središče. Pustimo še ločen direkten izvoz iz AV proti Rudniku. Prvi korak pa je enak kot v varianti 2-1.

V zadnjem koraku povežemo Peruzzijsko in Ig z krožnim prometom na enak način kot v varianti 2-2. Nimamo pa več povezave iz nakupovalnega območja direktno na krožni promet.

5.2.7 Varianta 3-1



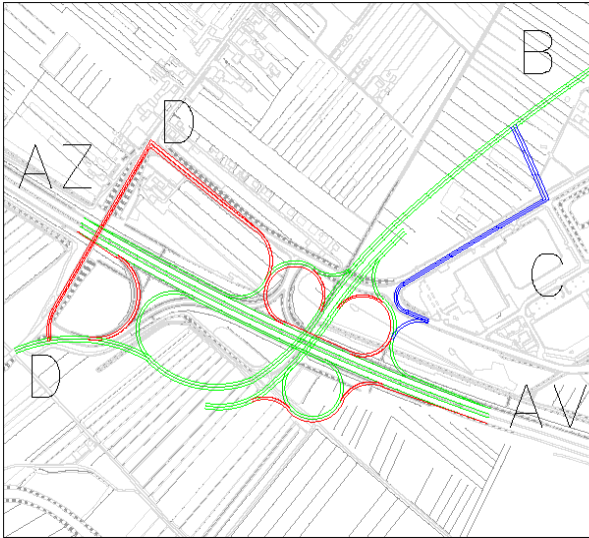
V tej varianti naredimo 4 krako križanje v obliki deteljice. Hitrosti na rampah so predvidene 40 km/h. V prvem koraku povežemo glavno mestno cesto in avtocesto

V naslednji fazi naredimo ločeno križišče glavne mestne ceste z dostopno cesto v nakupovalno območje. Prav tako tudi tu pustimo direktno izvozno rampo iz smeri AV proti Rudniku.

V tretjem koraku dodamo rampe, ki nam dajo popolno deteljico in omogočajo povezavo Iga z avtocesto in glavno mestno cesto. Območje Peruzzijeve preko obstoječega nadvoza povežemo z glavno mestno cesto, ki se nadaljuje proti Igu. Problematične so dokaj kratke dolžine za prepletanje.

Slika 39: Koraki variante 3-1

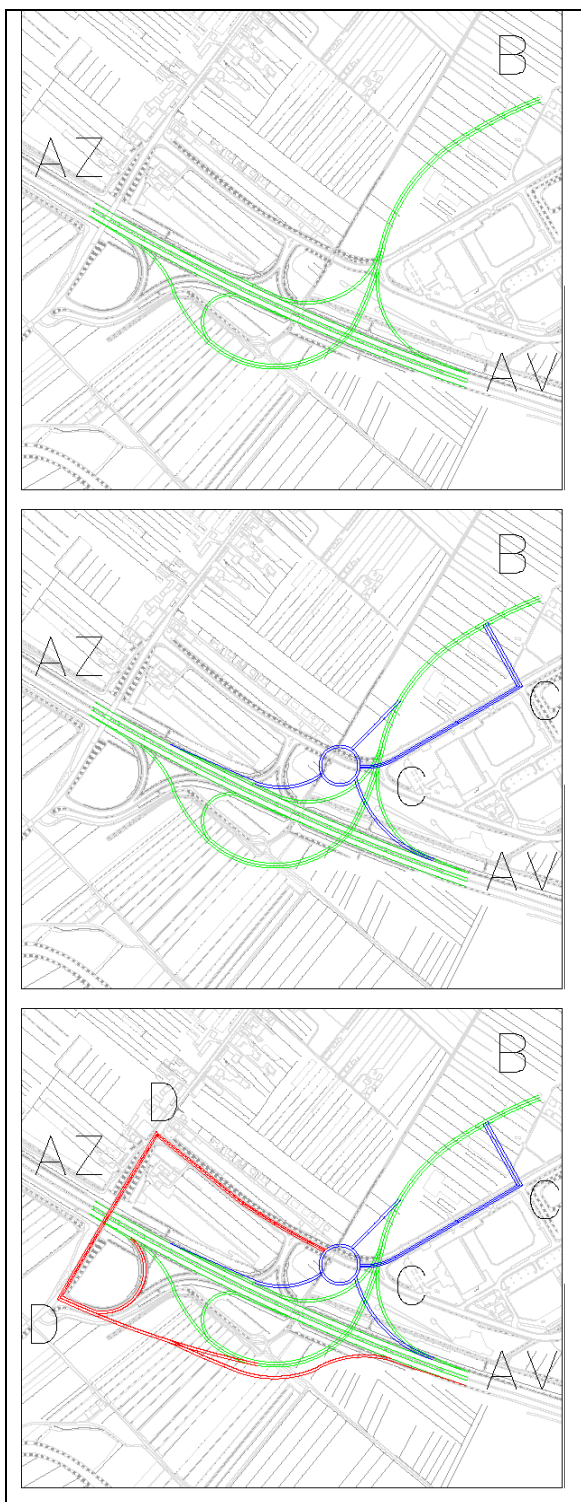
5.2.8 Varianta 3-2



V tej varianti povečamo dolžino za prepletanje na smeri AZ-AV. Obenem lahko tako uporabimo obstoječo izvozno rampo priključka Rudnik.

Slika 40: Koraki variante 3-2

5.2.9 Varianta 4-1



V tej varianti tudi začnemo s trobento, katere nadvoz pa pomaknemo vzhodneje.

V naslednjem koraku predvidimo krožišče zahodno od glavne mestne ceste, preko katerega povežemo glavno mestno cesto z nakupovalnim središčem Rudnik. V tem krožišču se stikajo tudi izvozna in uvozna rampa za direkten dostop na avtocesto brez uporabe glavne mestne ceste, ki je dvignjena nivo višje od modro označenih cest.

V krožišče priključimo še Peruzzijevo cesto, območje Iga je iz smeri AZ dostopno po obstoječi izvozni rampi, predvidimo pa tudi uvoz proti AV iz smeri Iga po ločeni rampi in povezavo na glavno mestno cesto. Severneje na glavni mestni cesti pa imamo križišče dostopne ceste za Rudnik z glavno mestno cesto.

Slika 41: Koraki variante 4-1

5.3 Primarna izločitev variant

V posameznih sklopih podvariant imamo zelo podobne poteke povezav in iz vsakega sklopa bomo izbrali po eno podvarianto za nadaljnjo optimizacijo in obravnavo.

Podvariante variante 1

Podvariante 1, ki so zasnovane na osnovno obliko trobente, se razlikujejo v naslednjih posameznostih:

- Podvarianta 1-2 se od podvariante 1-1 razlikuje v dodatni rampi, ki povezuje glavno mestno cesto z Igom, pri čemer se dvakrat križa z rampo iz Iga proti vzhodni avtocesti.
- Podvarianta 1-3 se od podvariante 1-1 razlikuje prav tako v dodatni rampi proti Igu, priključevanje NS Rudnik pa je rešeno z ločenim dvonivojskim priključkom na GMC

Pri podvarianti 1-2 dodatna povezovalna rampa za prehajanje iz glavne mestne ceste na cesto proti Igu zahteva dvoje novih izvenivojskih križanj z rampo, ki poteka od Iga na avtocesto proti vzhodu. Prometna obremenitev na relaciji GMC – Ig pa znaša po naši oceni leta 2035 le 50 vozil znotraj konične ure. Za le 50 vozil bi morali tako zgraditi dodatno rampo dolžine približno 450 metrov, obenem pa rampo od Iga proti vzhodu na avtocesto voditi po objektu. Iz ekonomskih razlogov zato to rampo opustimo in predvidimo vodenje prometa z glavne mestne ceste proti Igu po Peruzzijevi cesti in preko obstoječega nadvoza čez avtocesto proti Igu. S tem smo izločili podvarianto 1-2, saj tako postane enaka podvarianti 1-1.

V podvarianti 1-3 imamo predvideno dodatno rampo kot v podvarianti 1-2 in jo iz enakih razlogov tudi odstranimo. Poleg tega je predviden tudi ločen polni priključek nakupovalnega območja Rudnik na glavno mestno cesto in to zahteva dodaten premostitveni objekt, kar ponovno poveča stroške izgradnje. Polnega priključka te izvedbe tudi ne moremo enostavno izvesti, zaradi potrebnega prostora za premagovanje višinske razlike pri izvenivojskem križanju glavne mestne ceste in priključka. Predvideni objekti bi morali biti, zaradi slabih temeljnih tal, precej dolgi, saj nasipov ne moremo zgraditi višjih od 1.5 metra. Odločilen dejavnik za opustitev te podvariante pa je dejstvo, da lahko učinkovito izkoristimo že predvideni nadvoz preko avtoceste, ki se podaljša preko Peruzzijeve tudi za prehajanje vozil pod glavno mestno cesto in nato priključevanje nanjo kot smo to predvideli v podvarianti 1-1. Za nadaljnjo obravnavo iz tega sklopa izberemo podvarianto 1-1. V tej varianti je ohranjena obstoječa izvozna rampa na južni strani avtoceste, nadvoz preko avtoceste in Peruzzijeva cesta.

Podvariante variante 2

Podvariante 2, ki so zasnovane na osnovno obliko krožišča, se razlikujejo v naslednjih posameznostih:

- Podvarianta 2-2 se od variante 2-1 razlikuje po številu uvozov v krožni promet, saj je možno iz smeri Iga v krožni promet le uvažati, na Peruzzijsko pa le izvažati. Potek teh dveh ramp je bil v okviru optimizacije variant naknadno spremenjen.
- Podvarianta 2-3 se od variante 2-1 razlikuje prav tako podvarianta 2-2, obenem pa je NS Rudnik povezano le z GMC preko križišča in posredno preko GMC s krožnim prometom.

V podvarianti 2-1 imamo na krožnem prometu, ki poteka po loku s polmerom 125 metrov kar 7 uvozov in izvozov. Ker želimo na izvoznih rampah iz avtoceste ohraniti dokaj visoko hitrost, moramo v izogib zastojem na rampah zagotoviti tudi dovolj hitro vožnjo tudi po krožni cesti. Tega se pa ne doseže, če bodo uvozi in izvozi locirani prenatgosto. Na krožnem prometu bodo potekala prepletanja prometnih tokov in pri večih uvozih in izvozih se razdalje med njimi tako zmanjšajo, da pomenijo pomembno oviro v prometnem toku (zaustavitve, nesreče ipd.). Zato bi bilo treba vsaj rampo iz smeri Iga na krožno cesto odstraniti in urediti drugačen potek povezav iz te smeri. Ker alternativna rešitev povzroči neugoden in dolg potek priključevanja, podvarianta 2-1 opustimo.

V podvarianti 2-3 ni predvideno priključevanje nakupovalnega območja Rudnik na krožni promet ampak le na glavno mestno cesto s trokrakim križiščem in tako posredno na krožni promet. To križišče bo motnja na glavni mestni cesti zaradi levih zavijalcev v tem križišču, hkrati pa bo zelo obremenjeno, saj bo ves promet na avtocesto potekal preko tega križišča. Ker skušamo ohraniti glavno mestno cesto na višjem prometnem nivoju se odločimo za ukinitve tega križišča in izvedbo po sistemu desno-desno. To pa pomeni, da moramo drugače izvesti povezovanje Rudnika z avtocesto. Obravnavano varianta zato opustimo.

Odločimo se za varianta 2-2, ki predvideva povezavo nakupovalnega območja Rudnik s krožnim prometom in združitev rampe iz območja Iga na krožni promet z rampo, ki prihaja iz zahodne smeri avtoceste na krožni promet. Prav tako na severni strani opustimo priključevanje s Peruzzijske na rampo, ki vodi na avtocesto. Križišče na glavni mestni cesti je sistema desno-desno.

Ta način izvedbe vozlišča je z gradbenega vidika precej zahteven, saj imamo na tem območju ravninski teren in zaradi slabih temeljnih tal ne moremo niti vkopati avtoceste, niti ne napraviti nasipov za rampe in krožni promet preko avtoceste. Edina rešitev je z gradnjo objektov, a je za priključevanje ostalih cest in ramp na krožni promet potrebno na dokaj omejenem območju premagati višinsko razliko vsaj 6 metrov za prečkanje avtoceste, zaradi slabih tal pa bodo morale tudi rampe

potekati deloma po objektih. Čeprav vemo, da bo niveletni potek problematičen, jo vseeno prometno ovrednotimo, da ocenimo prometno ustreznost danim obremenitvam.

Podvariante variante 3

Podvarianti 3, ki sta zasnovani na osnovno obliko deteljice, se razlikujeta v naslednjih posameznostih:

- Podvarianta 3-2 se od podvariante 3-1 razlikuje v poteku indirektna rampe, ki vodi iz GMC proti vzhodni avtocesti in direktni rampi, ki prihaja iz zahodne avtoceste in poteka proti Igu. Za to povezavo namreč uporabimo obstoječo rampo priključka LJ Rudnik.

V tem sklopu pa bomo zaradi križanja 4 smeri morali priključevanje nakupovalnega območja na glavno mestno cesto narediti povsem ločeno, saj na deteljico ne moremo učinkovito povezati nakupovalnega območja direktno.

Izmed obeh variant tega sklopa je primernejša podvarianta 3-2. Varianta 3-2 izkazuje po predhodnem izračunu po metodologiji HCM prenizek nivo uslug na območju prepletanja na smeri AZ-AV (HCS+ Guide 2005). Ostala območja zaradi manjših prometnih obremenitev funkcionirajo dovolj dobro. V podvariantri 3-2 pa to dolžino prepletanja precej povečamo, obenem pa uporabimo obstoječo izvozno rampo iz avtoceste proti Igu. Odločimo se za varianto 3-2, pri kateri obdržimo izvozno rampo iz avtoceste na južni strani AC in nadvoz preko AC, Peruzzijevo cesto proti vzhodu pa spremenimo v slepo ulico, ki tako služi kot stanovanjska ulica, in jo ne priključimo na rampo deteljice.

Varianta 4

Varianta 4-1 je zasnovana na osnovno obliko trobente in je torej po tej značilnosti podobna prvemu sklopu variant. Jo pa obravnavamo ločeno, ker ima zasnovo in potek ramp ter način priključevanja okoliškega območje izvedeno povsem drugače. Trikrako križišče za povezovanje nakupovalnega območja z GMC je izvedeno za vožnjo v vse smeri, toda obremenitev križišča je majhna. Vozila, ki iz NS Rudnik vozijo proti AZ, uporabljajo namreč dodatni vključevalni pas na avtocesto iz krožišča. Tukaj dajemo tudi večji pomen obstoječi cestni mreži z obstoječim nadvozom preko avtoceste. V tej varianti imamo tudi le eno krožno križišče, preko katerega se razporejajo prometni tokovi severno od avtoceste. Peruzzijevo cesto ohranimo v celoti, prav tako tudi nadvoz čez AC in izvozno rampo iz AC proti Igu.

5.4 Primerjava izbranih variant

5.4.1 Prometno analiziranje s programom VISSIM 5.30

S programom Vissim 5.30 smo najprej pripravili prometni model za stanje na območju obstoječega priključka. To nam je služilo za preveritev prometnih obremenitev in za preveritev delovanja modela. Znotraj konične ure se na izvozu iz smeri AZ občasno pojavljajo zgoščitve, kar je simulacija tudi dokazala. Ocena obstoječe cestne mreže s prometnimi obremenitvami za leto 2035 je bila narejena na enak način kot za mrežo v prihodnosti, t.j. uporabili smo enake parametre za ocenjevanje in upoštevali enak porast prometnih obremenitev. To pa ni povsem primerno, saj je na tem območju načrtovana nova glavna mestna cesta, ki bo povsem spremenila prometni režim. Zato smo zmanjšali prometne obremenitve, ki bi pripadle novi glavni mestni cesti in jih preusmerili na obstoječe ceste.

Program VISSIM (Verkehr in Städte Simulation) nemškega podjetja PTV AG omogoča mikrosimulacijo odvijanja prometa (Gomboši B. A. 2010).

Najprej smo v program vstavili sliko situacije, katero je potrebno umeriti, da so kasneje narisane prometnice na tej situaciji pravih dolžin. V naslednji fazi določimo vezi, katerim določimo število in širine pasov, katere nato poljubno ukrivljamo, da se kolikor je le mogoče natančno prilegajo ozadju in s tem realni obliki. Med vezmi nato ustvarimo povezave (konektorje), ki določajo s katerega pasu na kateri pas vezi bo vozilo lahko prehajalo. V naslednji fazi izvornim vezem določimo prometne obremenitve, hitrost in strukturo prometa. Porazdelitev prometa določimo za vsako izvorno vez, na katero ponorno vez bodo vozila peljala po cestni mreži pa smo določili iz podanih prometnih obremenitev. Veliko parametrov kot je npr. distribucija hitrosti vozil, časovni razmak med vozili, je že prednastavljenih in jih za potrebe naše primerjave nismo spreminjali. Na nivojskih križiščih je bilo potrebno določiti na katerih vezeh in konektorjih imajo vozila prednost, da bi se izognili stihijskemu poteku prometa. Ker imamo v našem primeru veliko izvoznih ramp z avtoceste, smo zaradi natančnosti simulacije določili območja zmanjšane hitrosti vozil. V varianti 3-2 smo zaradi povsem ločenega priključevanja nakupovalnega središča in s tem visokih prometnih obremenitev, morali predvideti in določiti še krmilne programe semaforov v dveh križiščih, da smo dobili realne čakalne čase na vseh vezeh na območju. Pred zagonom simulacije smo določili še katere parametre želimo v izhodni datoteki, in najznačilnejše izmed njih smo tudi prikazali v primerjavi variant s prometnega vidika (Vissim 5.30-05 User manual 2011).

Prometni model je simuliral dogajanje v konični uri in vsi parametri in rezultati veljajo za čas ene ure.

Pri vsaki varianti smo naredili oceno za celotno obravnavano območje. S pomočjo programa smo iz vrednotili naslednje podatke, ki veljajo za vse tipe vozil na celotni obravnavani cestni mreži v konični uri:

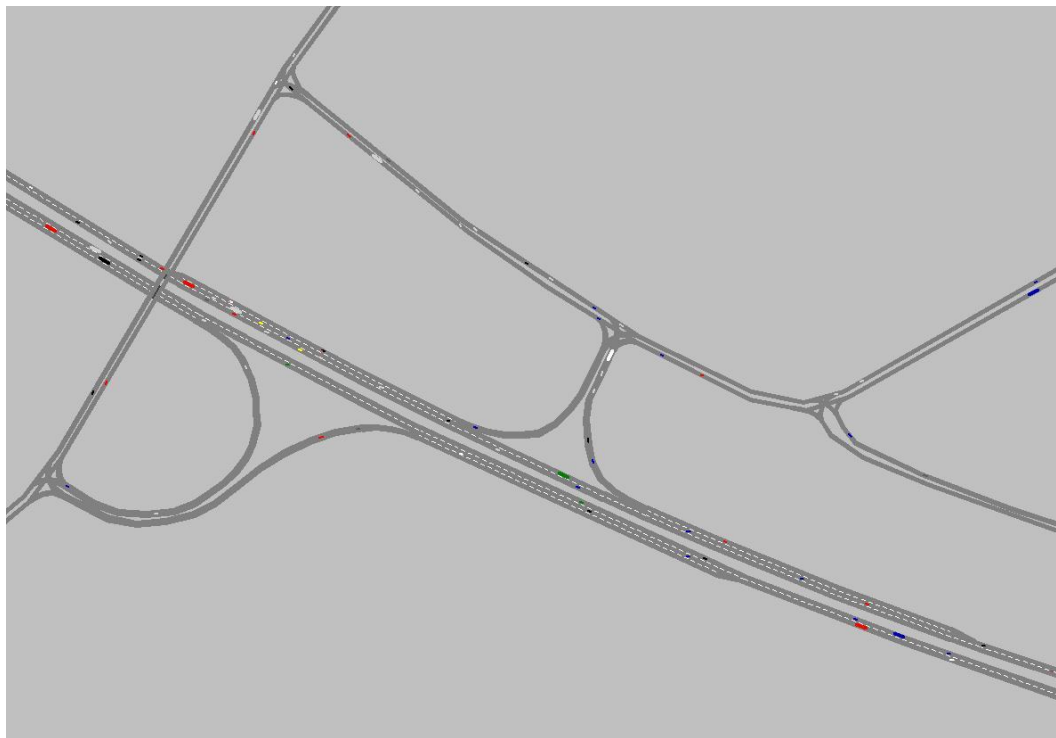
- Povprečni čas zamude na vozilo (v sekundah /vozilo)
- Povprečno število zaustavitev na vozilo
- Povprečna hitrost vozil (v kilometrih/uro)
- Povprečna zamuda zaradi zaustavitve na vozilo (v sekundah)
- Skupni čas zamud (v urah)
- Skupno prevožena razdalja (v kilometrih)
- Skupno število zaustavitev
- Skupne zamude zaradi zaustavitve vozil (v urah)
- Skupni potovalni čas (v urah)

(Podobno Vižintin E. 2000).

Na izbrane štiri variante smo najprej nanesti prometne obremenitve. V simulaciji so se takoj pokazala šibka mesta, kjer so se začeli pojavljati zastoji. V naslednjem koraku smo zato pri vsaki izmed štirih obravnavanih variant optimirali cestno mrežo, da je boljše ustrezala prometnim obremenitvam. Smiselno smo dodali pasove na odsekih cest ali rampah in podaljšali vključevalna, izključevalna območja in območja prepletanja, kjer je to bilo potrebno. Vse te manjše spremembe pa niso spremenile osnovne oblike cestne mreže na območju vozlišča. Ko na nobeni izmed variant po izvedenih optimizacijskih ukrepih ni bilo več vidnejših zastojev, smo izvedli oceno zmogljivosti cestne mreže s parametri predstavljenimi zgoraj.

Primerjava med izbranimi variantami za leto 2035 je predstavljena v preglednicah tako po količinskem principu kot tudi po sorazmernih deležih teh količin glede na varianto 1-1, ki je privzeta kot osnova. Vrednotenje prometne učinkovitosti za začetno leto (2013) smo pripravili samo za obstoječe stanje cestne mreže na priključku LJ-Rudnik, da bi dobili primerjalno sliko prometnih razmer med začetnim in planskim letom (2013 oz. 2035).

Obstoječe stanje leto 2013



Slika 42: Prometni model obstoječega stanja

Pri obstoječem stanju dobimo rezultate predstavljene v preglednici 4.

Preglednica 4: Rezultati simulacije »obstoječe stanje leto 2013«

Parameter	Vrednost
Povprečni čas zamude na vozilo	12,14 s
Povprečno število zaustavitev na vozilo	0,16
Povprečna hitrost vozil	76,10 km/h
Povprečna zamuda zaradi zaustavitve na vozilo	0,32 s
Skupni čas zamud	22,45 h
Skupno prevožena razdalja	9884,43 km
Skupno število zaustavitev	1054
Skupne zamude zaradi zaustavitve vozil	0,60 h
Skupni potovalni čas	129,89 h

Dobljeni rezultati pokažejo, da današnje stanje še ni preveč kritično s povprečno zamudo na vozilo, ki znaša 12,1 sekunde. Prav tako je povprečna hitrost sorazmerno visoka. Ocenjujemo, da obstoječa cestna mreža današnjim prometnim obremenitvam še ustreza.

Obstoječe stanje leto 2035



Slika 43: Prometni model obstoječega stanja leto 2035

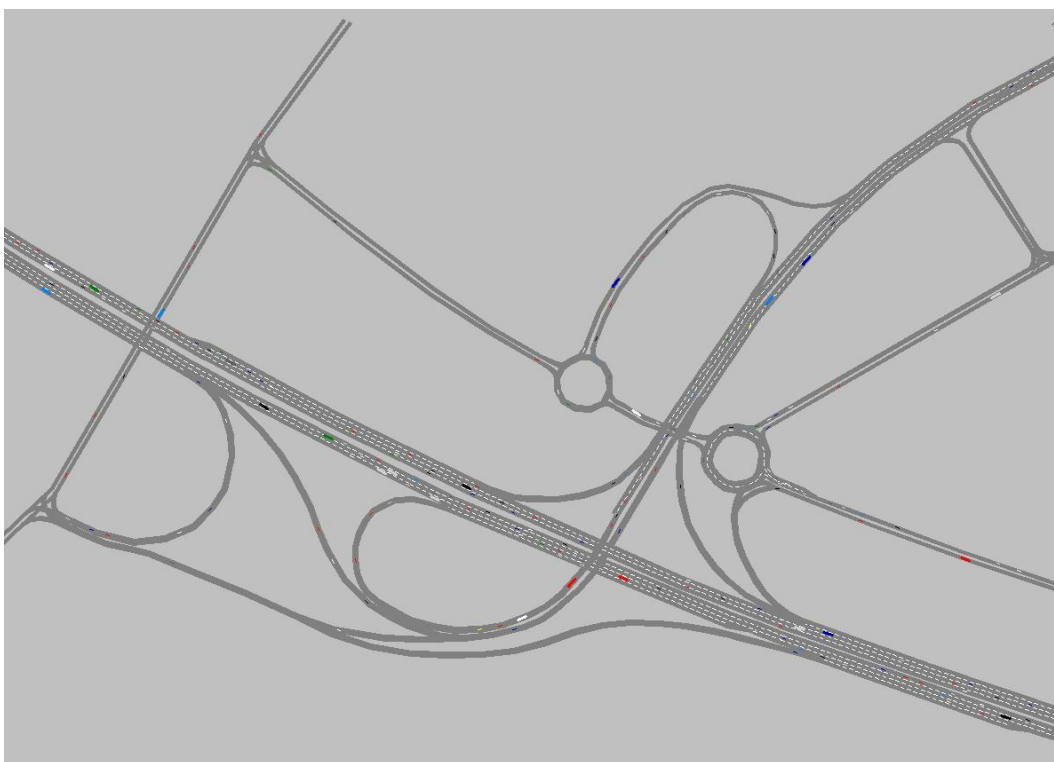
Na nespremenjeno cestno mrežo smo nanegli prometno obremenitev, kot jo pričakujemo ob koncu planske dobe leta 2035. Seveda smo obremenitve, ki bi pripadle novi glavni mestni cesti, zmanjšali in prerazporedili na obstoječe ceste. Tako smo dobili rezultate za varianto brez posegov cestno mrežo.

Preglednica 5: Rezultati simulacije »obstoječe stanje leto 2035«

Parameter	Vrednost
Povprečni čas zamude na vozilo	85,13 s
Povprečno število zaustavitev na vozilo	1,53
Povprečna hitrost vozil	36,78 km/h
Povprečna zamuda zaradi zaustavitve na vozilo	20,51 s
Skupni čas zamud	675,32 h
Skupno prevožena razdalja	14003,10 km
Skupno število zaustavitev	14570
Skupne zamude zaradi zaustavitve vozil	54,33 h
Skupni potovalni čas	380,74 h

Varianta 1-1

Pri optimizaciji te variante smo najprej podaljšali območje prepletanja na glavni mestni cesti pred vozliščem, kjer se priključuje območje Rudnika na avtocesto. Vzhodno krožno križišče smo preuredili v dvopasovnega in mu dodali dodatni pas za direktno desno zavijanje z avtoceste proti južnemu delu nakupovalnega območja. Spremenili smo potek ceste med obema krožiščema, da sedaj poteka v premi, ker se je pokazalo, da je v prvotni zasnovi otežena izvedba poteka severnih ramp trobente. Za relativno majhne dolžine smo podaljšali vključevalne pasove na avtocesto.



Slika 44: prometni model variante 1-1

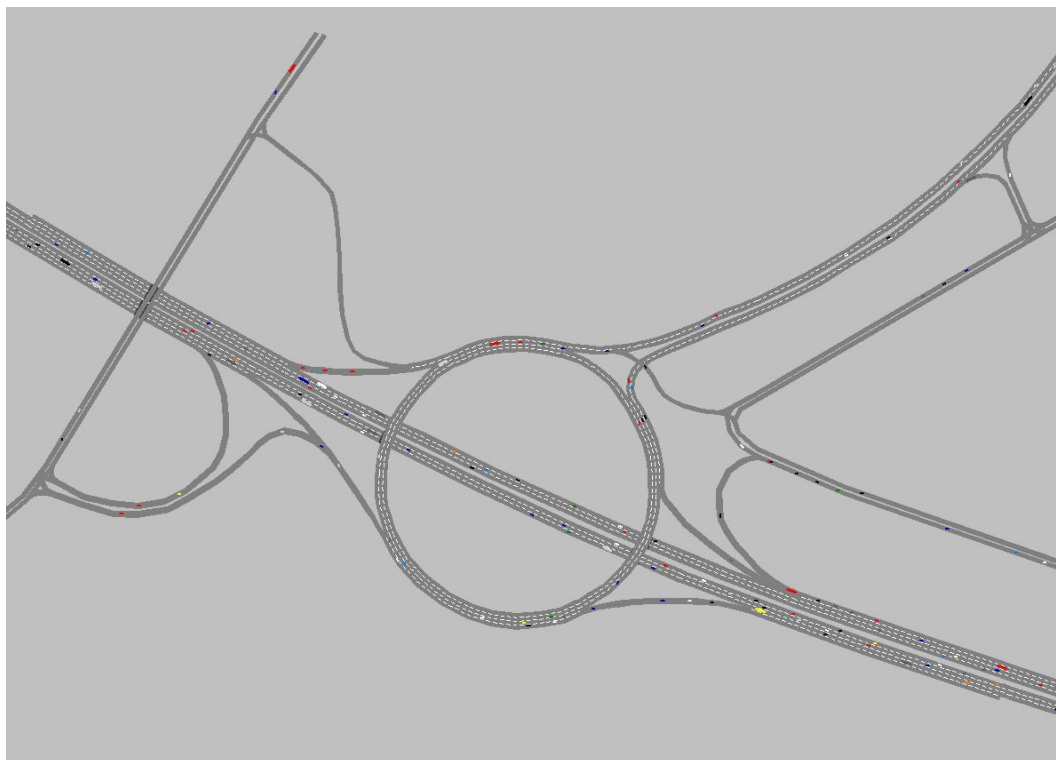
Pri tej varianti smo kombinirali priključek z razcepom tako na južni kot severni strani avtoceste. Na razcep se preko enosmerne rampe priključuje območje Iga, Peruzzijskega pa smo z območjem prepletanja skupaj z območjem NS Rudnik povezali z avtocesto. Ocena zmogljivosti cestne mreže je podana v preglednici 6.

Preglednica 6: Rezultati simulacije »varianta 1-1«

Parameter	Vrednost	Primerjava z var. 1-1
Povprečni čas zamude na vozilo	19,98 s	100 %
Povp. št. zaustavitev na vozilo	0,30	100 %
Povprečna hitrost vozil	66,37 km/h	100 %
Povp. zamuda zaradi zaust. /voz	1,33 s	100 %
Skupni čas zamud	64,18 h	100 %
Skupno prevožena razdalja	17546,56 km	100 %
Skupno število zaustavitev	3472	100 %
Sk. zamude zaradi zaustav. vozil	4,28 h	100 %
Skupni potovalni čas	264,37 h	100 %

Varianta 2-2

Pri tej varianti smo morali povečati število pasov v krožnem prometu na 3 in na 4 med obremenjenimi uvozi in izvozi, kjer se odvija tudi prepletanje. Prav tako smo morali prestaviti izvozno rampo iz krožnega prometa na Peruzzijsko cesto in jo združiti z rampo, ki pelje proti zahodu na avtocesto. Izvoz iz krožnega prometa na glavno mestno cesto smo prestavili dlje stran od uvoza v krožni promet, ki prihaja iz vzhodne smeri avtoceste. Poleg tega smo še malenkost podaljšali vse uvozne in izvozne krake, ki povezujejo avtocesto s krožnim prometom. Uvozna rampa iz Iga na krožni promet je združena z rampo, ki prihaja z zahodne smeri avtoceste, ohranili pa smo še rampo z zahodne smeri, ki poteka proti Igu.



Slika 45: prometni model variante 2-2

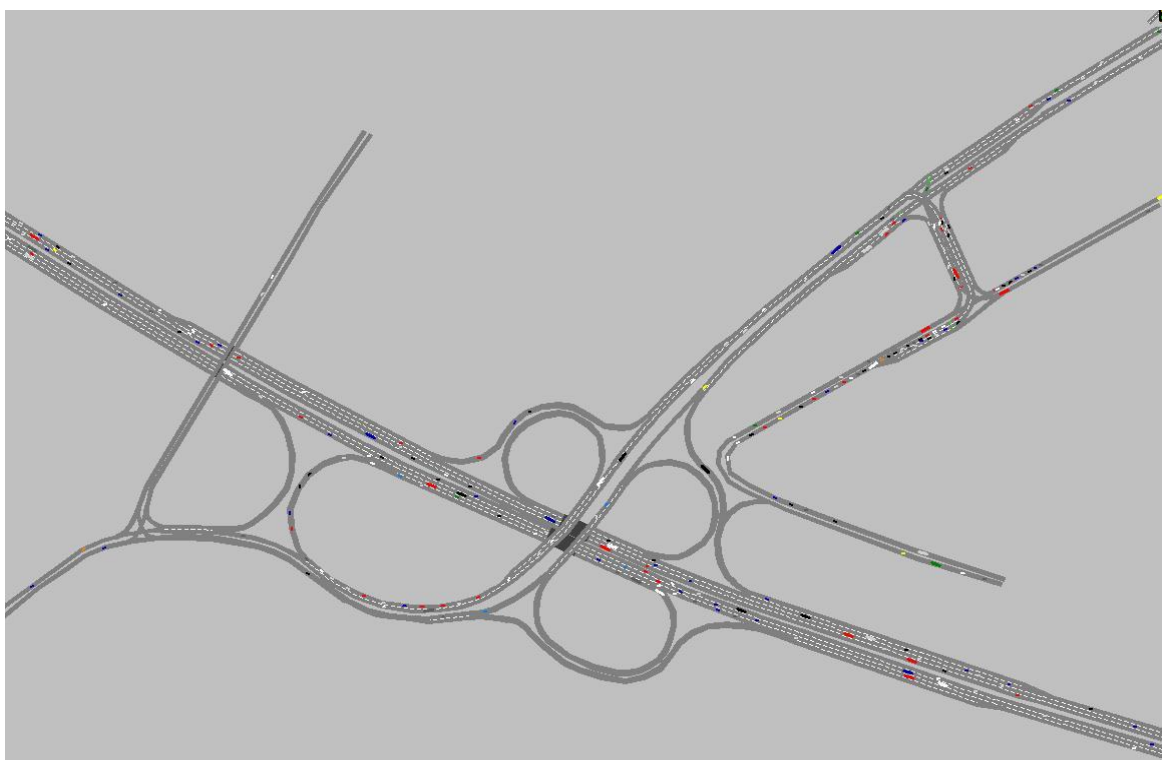
V tej varianti so vse značilne točke vozlišča združene v eno samo točko, ki je krožni promet. Preko njega so povezani tako razcep kot tudi priključek Iga in Peruzzijeve, Ostala nam je še 4. značilna točka, ki poveže glavno mestno cesto z nakupovalnim območjem v eni smeri. Kombinacija s priključkom pa je izvedena za smer proti Igu. Zmogljivost cestne mreže podajamo v preglednici 7.

Preglednica 7: Rezultati simulacije »varianta 2-2«

Parameter	Vrednost	Primerjava z var 1-1
Povprečni čas zamude na vozilo	10,56 s	52,8 %
Povp. št. zaustavitev na vozilo	0,08	25,0 %
Povprečna hitrost vozil	81,58 km/h	122,9 %
Povp. zamuda zaradi zaust. /voz	0,36 s	26,8 %
Skupni čas zamud	31,42 h	48,9 %
Skupno prevožena razdalja	16950,11 km	96,6 %
Skupno število zaustavitev	798	22,9 %
Sk. zamude zaradi zaustav. vozil	1,06 h	24,8 %
Skupni potovalni čas	207,77 h	78,6 %

Varianta 3-2

Pri optimiranju te variante smo morali še dodatno podaljšati območje prepletanja na avtocesti v smeri zahod – vzhod. Na križišču glavne mestne ceste z dostopno cesto za nakupovalno območje smo morali najprej podaljšati zavijalne pasove in ga v nadaljevanju semaforizirati. Prav tako smo semaforizirali trikrako križišče, ki povezuje to dostopno cesto z interno cesto nakupovalnega območja in podaljšali zavijalne pasove. Faze smo uskladili in za delovanje nastavili cikel 120 s



Slika 46: prometni model variante 3-2

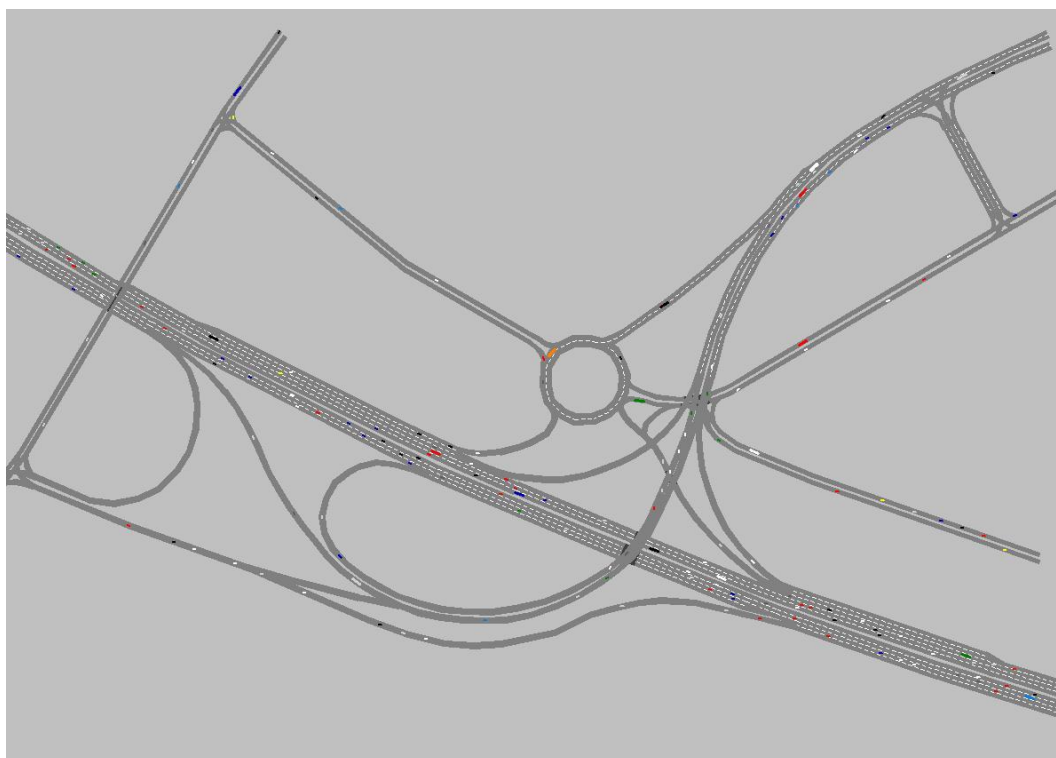
V tej varianti imamo štirikrako križišče med avtocesto, glavno mestno cesto in lokalno cesto proti Igu. Tako so v vozlišču združeni dve značilni točki vozlišča, tretja se tukaj ukine, v četrti pa smo uvedli semaforizirano trikrako križišče. Rezultati simulacije so podani v preglednici 8.

Preglednica 8: Rezultati simulacije »varianta 3-2«

Parameter	Vrednost	Primerjava z var 1-1
Povprečni čas zamude na vozilo	40,14 s	200,8 %
Povp. št. zaustavitev na vozilo	0,67	221,7 %
Povprečna hitrost vozil	52,41 km/h	78,9 %
Povp. zamuda zaradi zaust. /voz	15,31 s	1148,4 %
Skupni čas zamud	129,50 h	201,8 %
Skupno prevožena razdalja	17274,83 km	98,5 %
Skupno število zaustavitev	7728	222,6 %
Sk. zamude zaradi zaustav. vozil	49,39 h	1154 %
Skupni potovalni čas	329,63 h	124,7 %

Varianta 4-1

Pri tej varianti smo optimirali dolžine pospeševalnih pasov na avtocesto. Dostopno cesto z nakupovalnega območja na glavno mestno cesto smo razširili v štiripasovnico. Malo smo morali premakniti krožno križišče proti zahodu, da smo lahko izvedli dodatni pas za desne zavijalce, ki prihajajo iz vzhodne smeri avtoceste in potujejo v južni del nakupovalnega območja na Rudniku.



Slika 47: Prometni model variante 4-1

Tudi v tej varianti smo kombinirali razcep s priključkom na obeh straneh in na nek način uporabili in rešili vse 4 značilne točke vozlišča. Rezultati simulacije so podani v preglednici 9.

Preglednica 9: Rezultati simulacije »varianta 4-1«

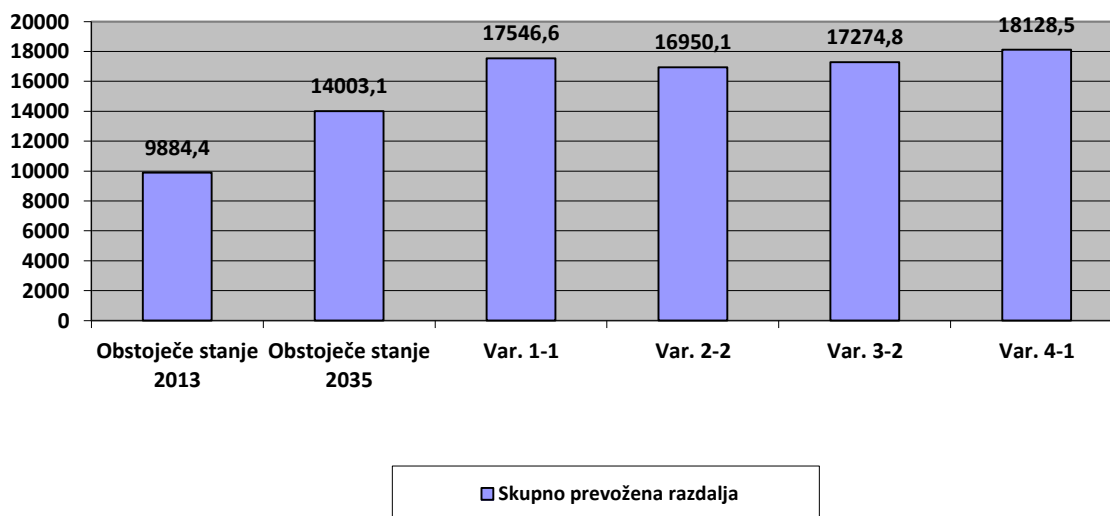
Parameter	Vrednost	Primerjava z var 1-1
Povprečni čas zamude na vozilo	13,00 s	65,0 %
Povp. št. zaustavitev na vozilo	0,09	29,7 %
Povprečna hitrost vozil	74,99 km/h	113,0 %
Povp. zamuda zaradi zaust. /voz	0,38 s	28,1 %
Skupni čas zamud	41,58 h	64,8 %
Skupno prevožena razdalja	18128,47 km	103,3 %
Skupno število zaustavitev	1022	29,4 %
Sk. zamude zaradi zaustav. vozil	1,20 h	28,0 %
Skupni potovalni čas	241,74 h	91,4 %

5.4.2 Primerjava variant s prometnega vidika

Primerjavo variant v obliki grafikonov naredimo za značilnejše parametre. Za vse parametre imamo odstotkovno primerjavo podano v tabelah pri posamezni varianti. Vsi rezultati veljajo za konično uro.

Skupno prevožena razdalja v kilometrih

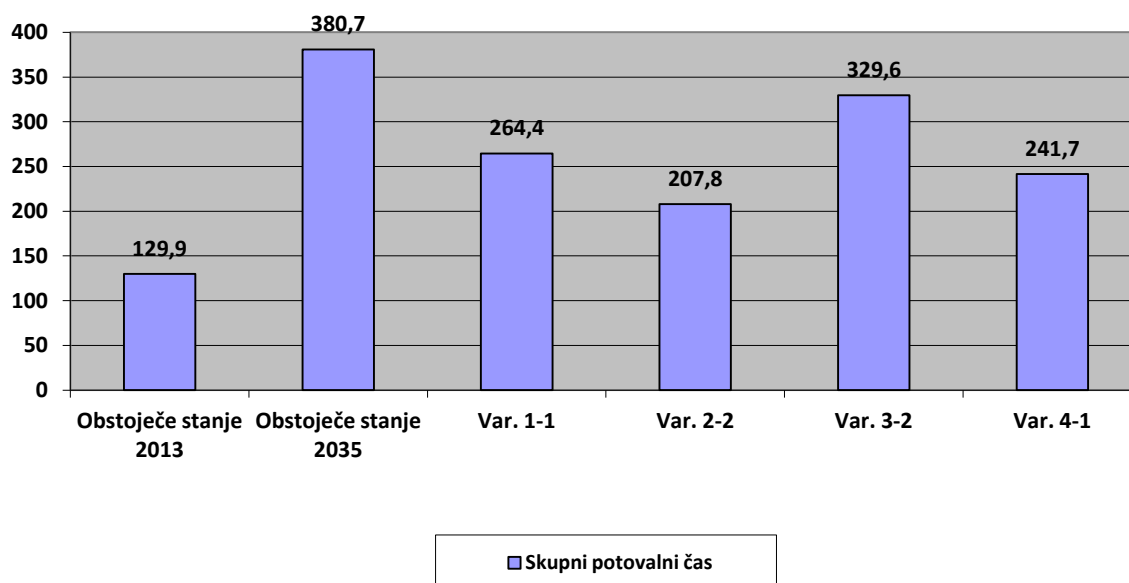
Grafikon 1: Primerjava skupno prevoženih razdalj (km v konični uri)



Skupno prevožena razdalja je pri vseh obravnavanih variantah približno enaka, najmanj kilometrov se opravi v varianti 2-2, saj se preko krožnega prometa hitro lahko dostopa do vseh smeri. Največ kilometrov pa se prevozi v varianti 4-1. Varianti 1-1 in 3-2 sta približno izenačeni. Graf kaže, da so vse štiri variante približno uravnotežene po skupni dolžini voženj in so tako lahko primerljive med seboj. Število kilometrov pri varianti, kjer ne izvedemo posegov v cestno mrežo, pa ni realno, saj je cestna mreža tako neprimerna za dane obremenitve, da program ne more v simulaciji upoštevati vseh vozil.

Skupni potovalni čas v urah

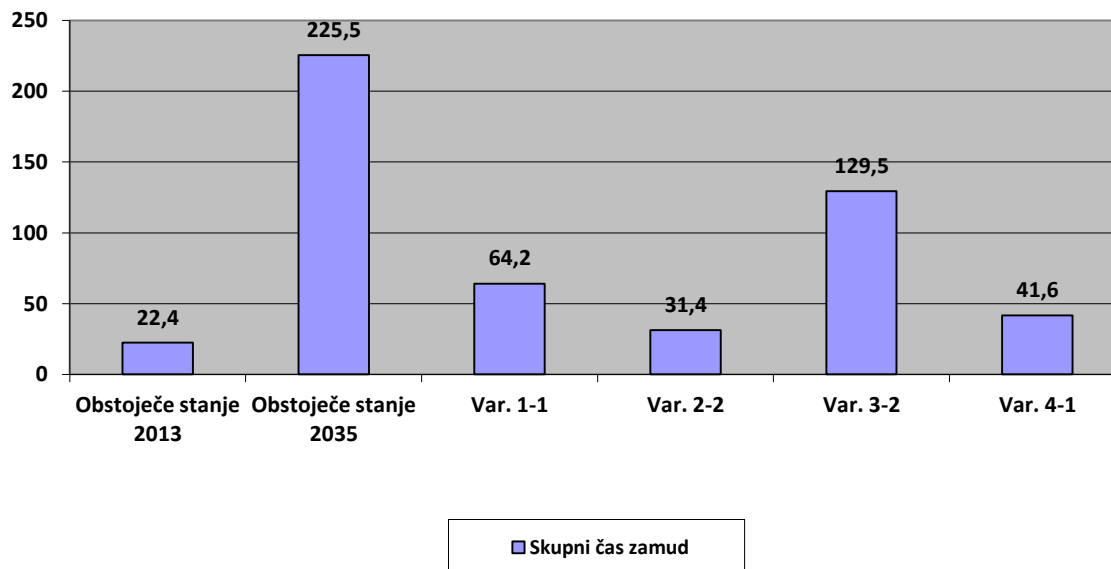
Grafikon 2: Primerjava skupnega potovalnega časa (ur v konični uri)



Potovalni čas je pričakovano najslabši pri varianti, pri kateri ne dogradimo cestne mreže. Izmed novih variant se najslabše izkaže varianta 3-2, ki je izdelana na osnovi oblike deteljice. Najmanjši skupni potovalni čas je pri varianti 2-2, varianta 4-1 pa je po tem parametru druga najboljša, čeprav ima največje skupno število prevoženih kilometrov.

Skupni čas zamud v urah

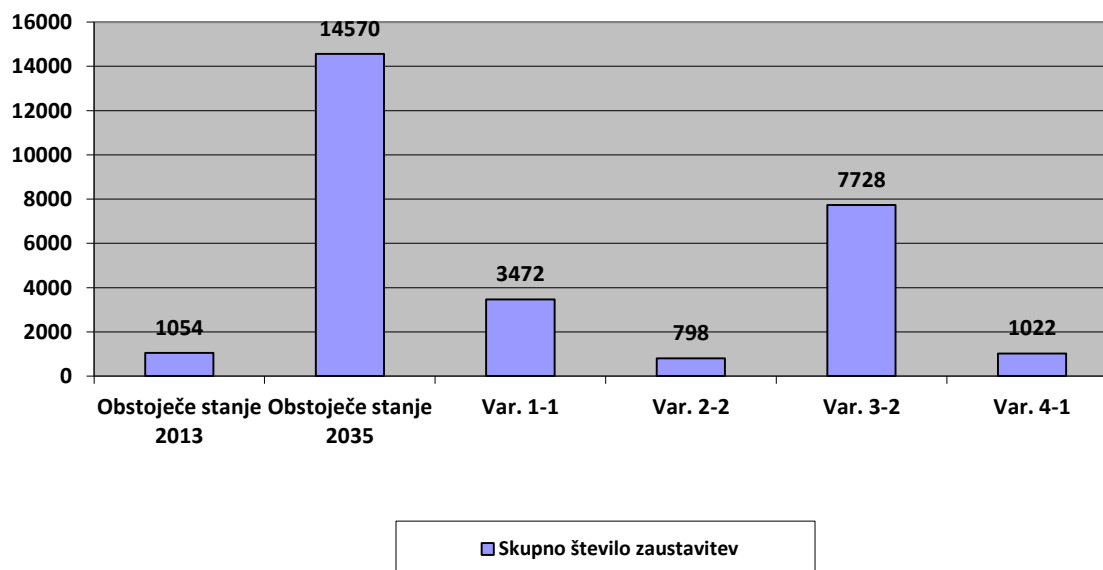
Grafikon 3: Primerjava skupnega časa zamud (ur v konični uri)



Po tem parametru je spet najboljša varianta 2-2, ki ji takoj sledi varianta 4-1. Najslabša je deteljica v varianti 3-2 in obstoječa cestna mreža, ki je ne dogradimo. Varianta 1-1 ima za polovico manjše skupne zamude kot varianta 3-2, a vseeno občutno večje kot varianta 2-2. Zamude pa so pri vseh variantah v prihodnosti večje kot so danes pri današnjih obremenitvah.

Skupno število zaustavitev

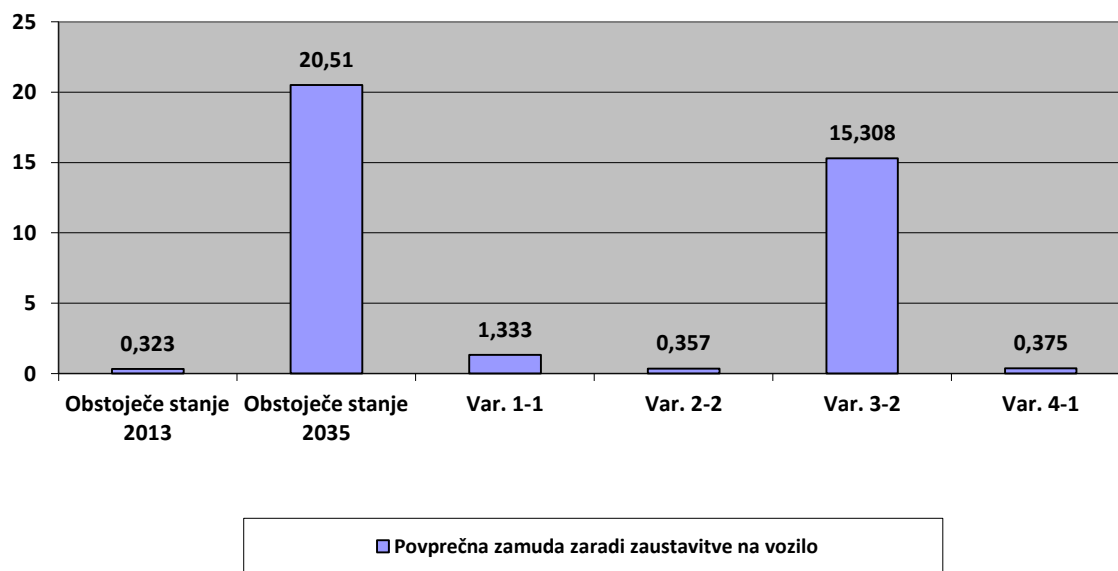
Grafikon 4: Primerjava skupnega števila zaustavitev (v konični uri)



Skupno število zaustavitvev je precej veliko v varianti 3-2, kar je verjetno posledica dveh semaforiziranih križišč na glavni mestni cesti in na Rudniku. Dokaj velika je ta vrednost v varianti 1-1, kjer imamo dve krožni križišči. Spet se kot najboljša izkaže varianta 2-2, le malenkost slabša je varianta 4-1, kjer imamo eno krožno križišče. Obstoječe stanje pa je zopet povsem neprimerno za predvidene prometne obremenitve v prihodnosti. Današnje stanje se po tem parametru v variantah 2-2 in 4-1 izboljša, kljub porastu prometa.

Povprečna zamuda zaradi zaustavitve na vozilo v sekundah

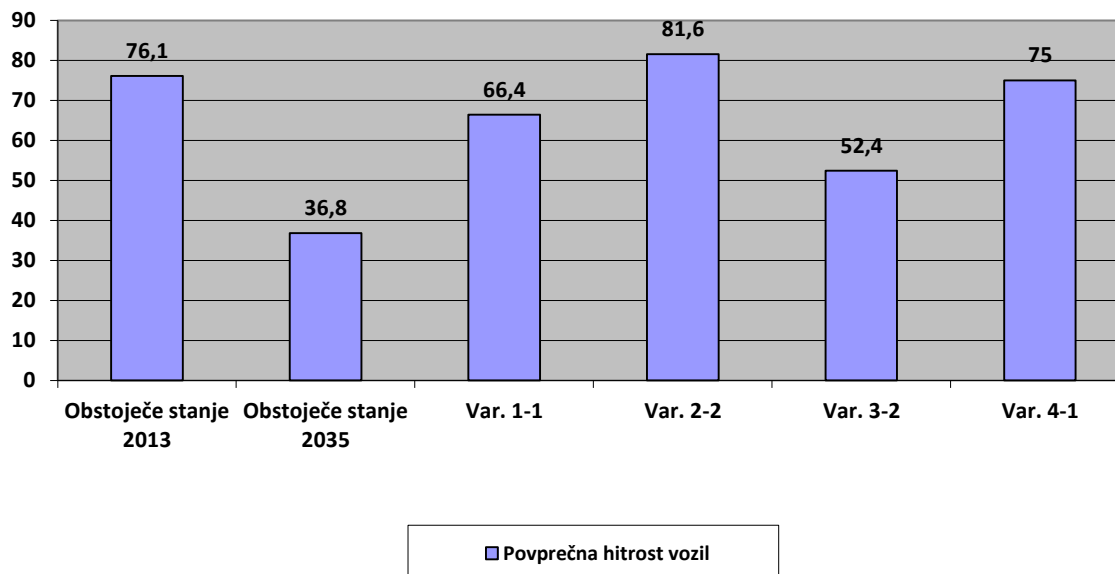
Grafikon 5: Primerjava povprečne zamude zaradi zaustavitve (s/voz v konični uri)



Zamude zaradi zaustavitve so pri variantah 2-2 in 4-1 ostale na približno enaki stopnji kot so danes, pri varianti 1-1 pa se le malenkostno zvišajo. Najslabše stanje je, če cestne mreže ne dogradimo, prav tako dobimo precej velike povprečne zamude zaradi zaustavitve pri varianti 3-2, kar je najverjetneje posledica semaforiziranih križišč.

Povprečna hitrost vozil v kilometrih na uro

Grafikon 6: Primerjava povprečne hitrosti vozil v letu 2035 (km/h v konični uri)



Povprečna hitrost vozil se skoraj prepolovi, če ne uredimo cestne mreže za predvideni promet na tem območju. Pri varianti 2-2 se povprečna hitrost v primerjavi z obstoječim stanjem celo zviša, pri 4-1 pa ostane na enaki stopnji. Pri varianti 1-1 imamo slabše stanje kot pri 4-1, najslabša možnost pa je spet varianta 3-2.

Prometna primerjava nam pokaže očitno, da je na tem območju nujna preureditev priključka, sicer bo stanje na obstoječi cestni mreži postalo nevzdržno, nestabilno, zgoščeno in kot posledica vsega tega tudi zelo nevarno. Tudi stroški uporabnikov se bodo močno povečali na račun zamud in izgubljenega časa.

Najslabša izmed načrtovanih preureditev je deteljica v varianti 3-2. Pri tej varianti smo priključevanje nakupovalnega območja povsem ločili od območja vozlišča in ga preko križišča na glavni mestni cesti povezali z avtocesto. Način kot smo si ga izbrali ne ustreza prometnim zahtevam in zato ocenimo to varianto s prometnega vidika kot neprimerno.

Najboljše se presenetljivo izkaže varianta 2-2, ki pa je, kot smo že opisali pri izločitvi variant, gradbeno zelo zahtevna zaradi konfiguracije terena in poteka povezav. Kljub temu se v vseh parametrih odreže najbolje. Pri tem je treba poudariti, da je krožni promet dimenzioniran zelo bogato in na takšen način, da že v simulaciji ni prihajalo do zastojev.

Varianta 4-1 kljub precej enostavnejši gradbeni izvedbi kot varianta 2-2 precej dobro rešuje prometno problematiko vozlišča, parametri simulacije pa so le malenkostno slabši kot pri varianti 2-2. Varianta 1-1 kljub podobnemu poteku povezav kot v varianti 4-1 ne da tako dobrih rezultatov kot ta. So pa vseeno mnogo boljši kot pri scenariju brez ukrepov ali pri varianti 3-2.

Ocena skupne zmogljivosti z ocenami manj primerno, primerno in zelo primerno je po vrstnem redu ustreznosti, glede na skupen rezultat primerjav parametrov podana v naslednji preglednici:

Preglednica 10: Ocena prometne zmogljivosti variant

Varianta	Ocena
Varianta 2-2	Zelo primerna
Varianta 4-1	Zelo primerna
Varianta 1-1	Primerna
Varianta 3-2	Manj primerna

5.4.3 Analiza variant z vidika prometne varnosti s programom SSAM 2.1.6

Programsko orodje SSAM (Surrogate safety assessment model) nam omogoča, da za mikroskopske modele prometa ocenimo število konfliktnih situacij med posameznimi vozili. Po analizi poti vozil v simulacijah program napove število konfliktnih situacij na obravnavanem območju. Iz tega je lahko ocenjena potencialna nevarnost za nastanek prometnih nesreč na preučevanem območju. Časovno obdobje in prometna obremenitev, za katero se ocenjuje nevarnost nastanka prometnih nesreč, sta enaki kot v mikroskopskem modelu, v katerem preverjamo prometno zmogljivost (PU, L., JOSHI, R., 2008).

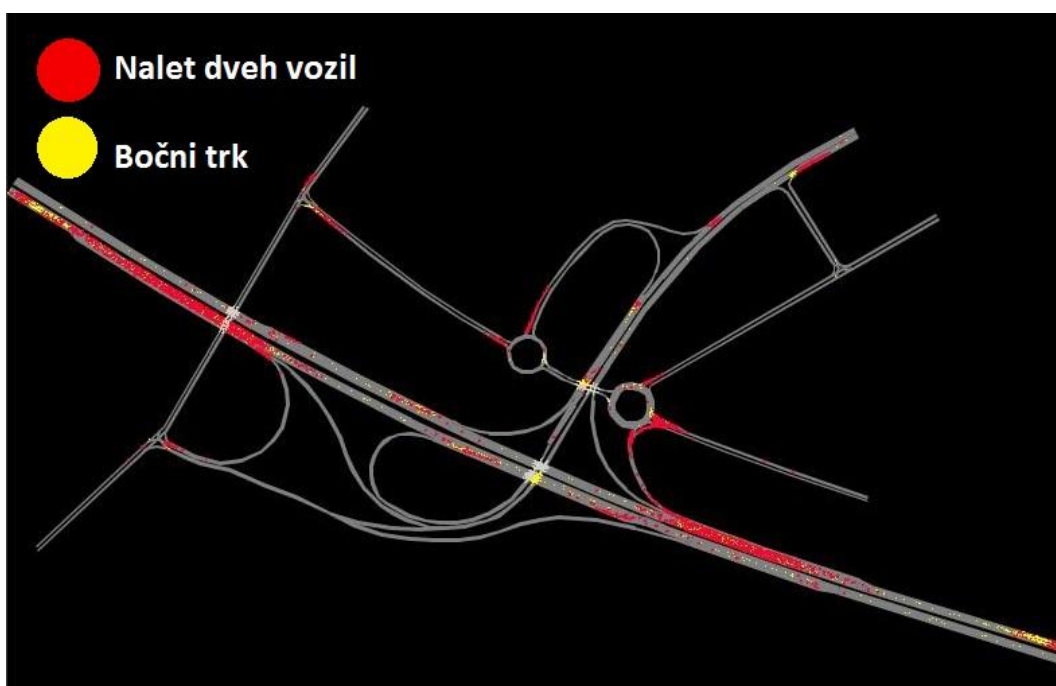
Iz mikroskopskega modela, narejenega s programom VISSIM 5.30, smo pridobili za vsako varianto po 10 datotek s končnico .trj, v katerih so bile zapisane trajektorije vozil. Naredili smo namreč po 10 simulacij za vsako varianto, da bi tako dvignili raven natančnosti. Te datoteke smo nato uvozili v program SSAM 2.1.6, ki je analiziral trajektorije vozil in nam podal število konfliktov v posamezni varianti.

Model uporablja dve mejni vrednosti za varnostne meritve s katerimi definira interakcijo med dvema voziloma kot konflikt:

- TTC – (ang. Time to collision) čas do trka
- PET – (ang. Post-encroachment time) čas zaznavanja dogodka

Za posamezno varianto smo tako pridobili podatke o številu konfliktov, ki so razdeljeni na nalete, bočne trke (oplazenja) in trke pri križanjih za vseh deset simulacij kumulativno. Najbolj nas zanimata prva dva tipa, ki sta najpogosteje prisotna na avtocestah. Križanja so pogosta na ostalih cestah in se jim v tej primerjavi ne bomo posvečali. Za vsako varianto sta predstavljeni slika, ki prikazuje nalete (ang. rear end collision) z rdečimi pikami in bočne trke oziroma oplazenja pri menjavi pasu (ang. lane change collision) z rumenimi pikami na cestni mreži in preglednica, ki vsebuje podatke o številu konfliktnih situacij.

Varianta 1-1



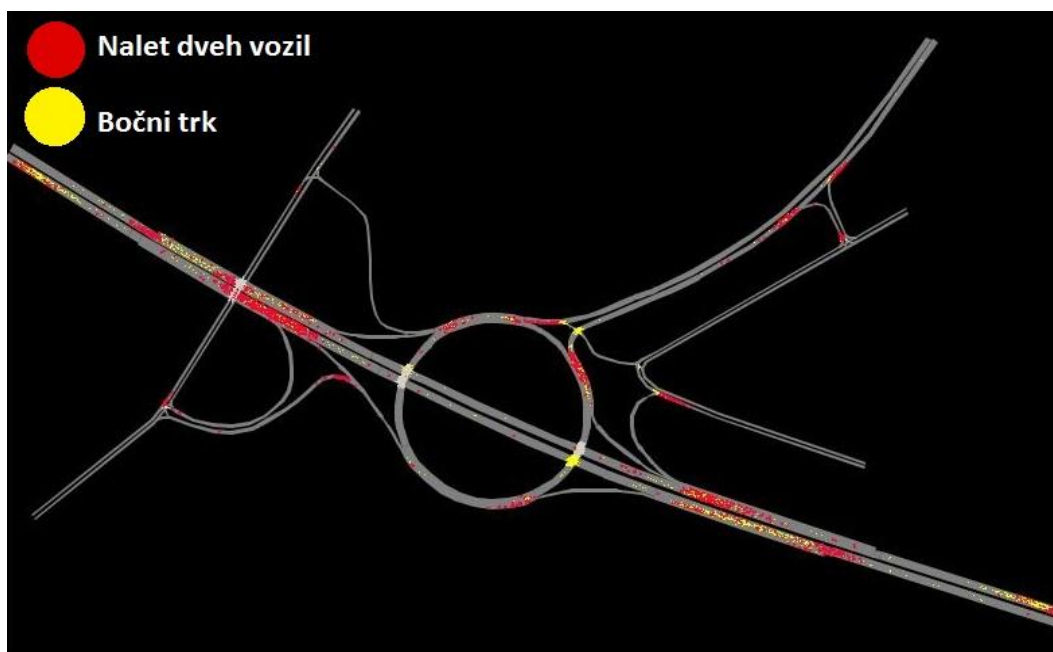
Slika 48: Konflikti med vozili varianta 1-1

Iz slike 48 je vidna velika gostota konfliktnih točk na avtocestah na obeh izvoznih območjih in pa na bolj obremenjenih uvozih v obe krožni križišči. Predvsem gre za nevarnosti naleta dveh vozil, manj pa je konfliktnih točk, v katerih je nevarnost trka zaradi menjave pasu. Število konfliktov ločeno po tipih je podano v naslednji preglednici.

Preglednica 11: Število konfliktov pri varianti 1-1

Varianta 1-1	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Nalet dveh vozil	Bočni trk	Skup. število konfliktov
Simulacija št. 1	0	2947	451	1045	4443
Simulacija št. 2	0	2919	593	1073	4585
Simulacija št. 3	0	2853	517	966	4336
Simulacija št. 4	0	2858	438	985	4281
Simulacija št. 5	0	3067	591	1183	4841
Simulacija št. 6	0	3157	722	1082	4961
Simulacija št. 7	0	2940	727	1091	4758
Simulacija št. 8	0	3028	608	1108	4744
Simulacija št. 9	0	3080	605	1097	4782
Simulacija št. 10	0	3360	857	1128	5345
SKUPAJ	0	30209	6109	10758	47076

Varianta 2-2



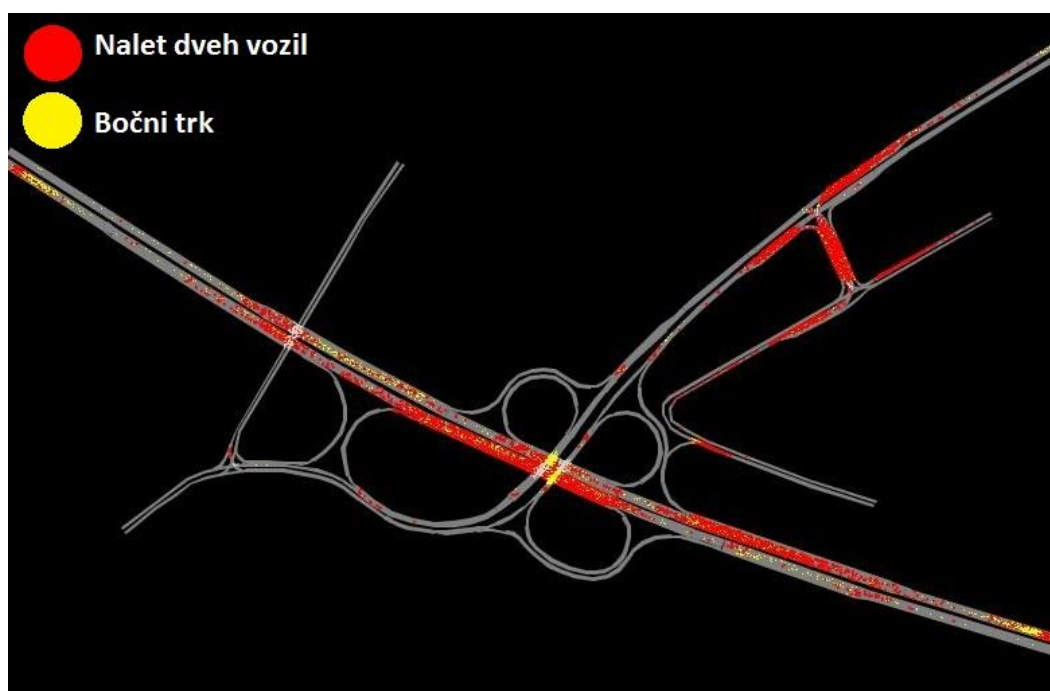
Slika 49: Konflikti med vozili varianta 2-2

Podobno kot pri varianti 1-1 imamo tudi tukaj precej konfliktnih situacij pred izključevalnimi območji z avtoceste in sicer predvsem z nevarnostjo naleta. V tej varianti je veliko konfliktnih točk, pri katerih je nevarnost trka zaradi menjave pasu na obeh vključevalnih območjih na avtocesto. Precej veliko konfliktnih točk je tudi na krožni cesti, kjer se od nje odcepljajo in priključujejo posamezne bolj obremenjene rampe. Število konfliktov je manjše kot pri varianti 1-1, točne vrednosti pa so podane v preglednici 12.

Preglednica 12: Število konfliktov pri varianti 2-2

Varianta 2-2	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Nalet dveh vozil	Bočni trk	Skup. število konfliktov
Simulacija št. 1	0	1510	313	922	2745
Simulacija št. 2	0	1460	268	894	2622
Simulacija št. 3	0	1487	254	849	2590
Simulacija št. 4	0	1487	329	926	2742
Simulacija št. 5	0	1502	224	974	2700
Simulacija št. 6	0	1537	230	989	2756
Simulacija št. 7	0	1490	212	844	2546
Simulacija št. 8	0	1551	282	980	2813
Simulacija št. 9	0	1514	280	939	2733
Simulacija št. 10	0	1520	248	841	2609
SKUPAJ	0	15058	2640	9158	26856

Varianta 3-2



Slika 50: Konflikti med vozili varianta 3-2

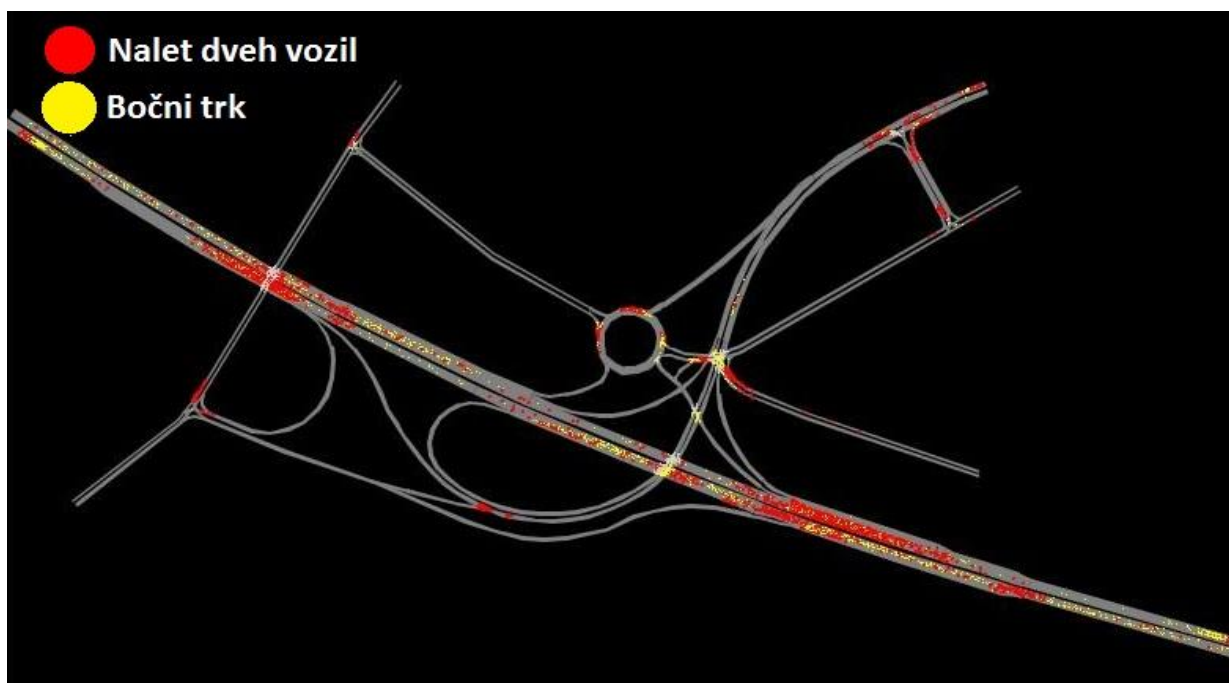
V varianti 3-2 je že iz slike 50 razvidno, da je prometna ureditev slaba. Število konfliktnih točk je pri tej varianti največje. Na avtocesti imamo veliko nevarnih situacij pri katerih lahko pride do naleta na obeh izvoznih območjih in na območjih prepletanja na avtocesti. Precej je tudi nevarnih situacij s

tveganjem za trk pri menjavi pasu na vključevalnih območjih na avtocesto. Križišče na glavni mestni cesti, preko katerega se navezuje NS Rudnik na cestno mrežo je tudi potencialno zelo nevarno z vidika možnosti nastanka naleta. Preko tega križišča pri tej varianti namreč poteka celoten promet iz NS Rudnik. Število konfliktov je podano v naslednji preglednici.

Preglednica 13: Število konfliktov pri varianti 3-2

Varianta 3-2	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Nalet dveh vozil	Bočni trk	Skup. število konfliktov
Simulacija št. 1	0	2545	731	2390	5666
Simulacija št. 2	0	2453	762	2285	5500
Simulacija št. 3	0	2211	783	2024	5018
Simulacija št. 4	0	3101	1052	2704	6857
Simulacija št. 5	0	3014	1263	2871	7148
Simulacija št. 6	0	2785	1236	2614	6635
Simulacija št. 7	0	2360	820	2115	5295
Simulacija št. 8	0	2326	852	2081	5259
Simulacija št. 9	0	2541	871	2434	5846
Simulacija št. 10	0	2833	1031	2706	6570
SKUPAJ	0	26169	9401	24224	59794

Varianta 4-1



Slika 51: Konflikti med vozili varianta 4-1

Tudi pri tej varianti je veliko konfliktnih točk s tveganjem naleta na izključevalnih območjih. Na vključevalnih območjih pa je večja nevarnost trka zaradi menjave pasu. Je pa konfliktnih točk precej manj kot pri varianti 3-2, točno število pa je razvidno iz preglednice 13.

Preglednica 14: Število konfliktov pri varianti 4-1

Varianta 4-1	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Nalet dveh vozil	Bočni trk	Skup. število konfliktov
Simulacija št. 1	0	2445	360	1078	3883
Simulacija št. 2	0	2421	431	1084	3936
Simulacija št. 3	0	2388	419	1035	3837
Simulacija št. 4	0	2500	425	1126	4051
Simulacija št. 5	0	2419	511	1183	4113
Simulacija št. 6	0	2631	468	1128	4227
Simulacija št. 7	0	2474	463	1019	3956
Simulacija št. 8	0	2362	410	1035	3807
Simulacija št. 9	0	2448	441	1013	3902
Simulacija št. 10	0	2649	401	1128	4178
SKUPAJ	0	24732	4329	10829	39890

5.4.4 Primerjava variant z vidika prometne varnosti

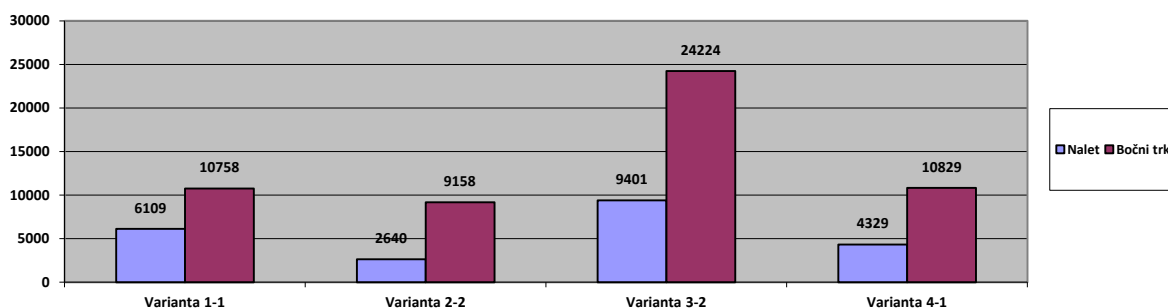
Primerjavo obravnavanih variant z vidika prometne varnosti smo naredili z dvema parametroma, za katera menimo, da sta reprezentativna. Primerjali smo skupno število konfliktnih točk pri katerih obstaja nevarnost nastanka naleta in točk pri katerih obstaja nevarnost bočnega trka oziroma oplazenja zaradi menjave pasu vozila. Podobno kot pri primerjavi s prometnega vidika tudi tu v preglednici 15 podajamo primerjavo parametrov količinsko in v deležih, pri čemer so za osnovo privzete vrednosti parametrov iz variante 1-1.

Preglednica 15: Parametri primerjave z vidika prometne varnosti

Parameter	Nevarnost naleta dveh vozil			Nevarnost bočnega trka vozil		
	Število	Delež (%)	Redni število	Število	Delež (%)	Redni število
Varianta 1-1	6109	100 %	3.	10758	100 %	2.
Varianta 2-2	2640	43,2 %	1.	9158	85,1 %	1.
Varianta 3-2	9401	153,9 %	4.	24224	225,2 %	4.
Varianta 4-1	4329	70,9 %	2.	10829	100,7 %	3.

Vidimo, da je kot pri prometni primerjavi tudi iz tega vidika najmanj primerna varianta 3-2, ki ima neprimerno večje število konfliktnih situacij kot pa ostale variante. Po obeh parametrih je najprimernejša varianta 2-2. Nevarnih situacij z možnostjo naleta je tu več kot polovico manj kot pri varianti 1-1, pa tudi varianta 4-1 je z vidika tega parametra precej boljša od variante 1-1. Konfliktnih situacij z možnostjo bočnega trka pa je pri variantah 1-1 in 4-1 skoraj enako število, pri varianti 2-2, pa jih manj.

Grafikon 7: Primerjava števila konfliktnih situacij v konični uri – leto 2035



Primernejši varianti sta z vidika prometne varnosti varianti 2-2 in 4-1. Za ti dve varianti smo zato izvedli še T-test s programskim orodjem SSAM 2.1.6. Vrednost α T-testa smo določili 0,05, kar pomeni da nam bo izračun vrnil rezultate, za katere lahko s 95 % gotovostjo trdimo, da so pravilni. Na podlagi statistične značilnosti (ang. Significant) lahko statistično vrednost sprejmemo ali zavrnamo. Pri rezultatu DA v preglednici, imamo 95 % verjetnost, da obstaja bistvena statistična razlika med primerjanima vrednostima (povzeto po Peternel J. 2012). V preglednici so podani rezultati T-testa. Z rdečo so obarvani rezultati za naletne konflikte, z rumeno pa za konflikte pri menjavi pasu. Za te vrednosti je v stolpcu »Statistična značilnost« potrjena statistična razlika (DA), prav tako tudi za ostale parametre modela, razen za čas do trka (TTC), ki pa se ne razlikuje in ga v tej primerjavi tudi ne upoštevamo. S 95 % verjetnostjo lahko trdimo, da je varianta 2-2 primernejša in varnejša od variante 4-1 po številu konfliktnih situacij. Ta razlika pa ni pretirana, kar smo prikazali v grafikonu 7, in sklenemo, da sta obe varianti varnostno primerljivi in kot taki tudi obe primerni z varnostnega vidika.

Preglednica 16: Primerjava rezultatov T-testa variant 4-1 in 2-2

	Varianta 4-1			Varianta 2-2			t-test			
	Povprečje	Varianca	Ponovitve	Povprečje	Varianca	Ponovitve	t –vred.	t-kritično	Stat. značil.	Povpr. razlika
SSAM rezultati										
TTC	0,12	0,12	39890	0,12	0,116	26856	-0,044	1660	NE	0,00
PET	0,15	0,29	39890	0,16	0,288	26856	-1,674	1660	DA	-0,007
MaxS	22,94	58,12	39890	27,05	53,659	26856	-69,814	1660	DA	-4,104
DeltaS	24,94	111,41	39890	27,27	129,147	26856	-35,037	1660	DA	-3,055
DR	-0,66	3,39	39890	-0,79	3,911	26856	8,211	1660	DA	0,125
MaxD	-1,09	5,63	39890	-1,14	5,872	26856	2,724	1660	DA	0,052
MaxDeltaV	14,21	48,11	39890	16,23	57,019	26856	-35,038	1660	DA	-2,022
Vrsta konflikta										
Križanje	2473,2	9346,6	10	1505,80	707,956	10	30,509	1,734	DA	967,40
Nalet	432,9	1713,2	10	264,00	1448,667	10	9,499	1,734	DA	168,90
Bočni trk	1082,9	3280,9	10	915,80	3248,400	10	6,539	1,734	DA	167,10
Skupaj	3989,0	21168,4	10	2685,60	7654,489	10	24,278	1,734	DA	1303,0

Pomen oznak:

TTC čas do trka

PET čas zaznavanja dogodka

MaxS največja hitrost obeh vozil

DeltaS razlika v hitrosti vozila

DR pojemek vozila

MaxD največji pojemek drugega vozila

MaxDeltaV največja vrednost spremembe med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku obeh vozil v konfliktu

5.4.5 Projektiranje potrebnih novogradenj

Za izdelavo idejne zasnove smo uporabili programsko okolje AutoCAD Civil 3D 2012 (Chappell E. 2011), v katerem smo uporabili digitalni topografski načrt v merilu 1:1000 in digitalni model višin formata XYZ. Predvsem nas je zanimala možnost dejanske izvedbe izbranih potekov povezav in groba ocena gradbenih dolžin za izdelavo osnovne primerjave variant z gradbenega vidika.

Za izbiro minimalnih geometrijskih elementov smo uporabili predpise iz Pravilnika o projektiranju cest (Ur. L. RS št. 91/2005). Natančnosti vzdolžnih profilov ramp smo posvetili le toliko pozornosti, da smo ugotovili izvedljivost variante in se po navodilu mentorja nismo ukvarjali s podrobno obdelavo stikov med rampami in ostalimi deli cestne mreže ter vertikalnih zaokrožitev.

Za izvozne rampe z avtoceste na glavno mestno cesto smo izbrali minimalno računsko hitrost 60 km/h, za ostale pa odvisno od variante: 60 km/h, kjer je bilo možno, oziroma 40 km/h. Za ti dve hitrosti smo tudi izbrali minimalne geometrijske elemente za situativno vodenje osi ceste, medtem ko smo pri vertikalnih zaokrožitvah povsod uporabili mejne vrednosti za minimalne elemente za računsko hitrost 60 km/h.

Preglednica 17: Minimalni horizontalni geometrijski elementi

Parameter	40 km/h	60 km/h
R_{min}	45 m	125 m
A_{min}	35	75
L_{min}	30 m	50 m

Minimalni vertikalni geometrijski elementi:

- 60 km/h
 - $r_{min kv}$ – minimalni konveksni radij: 1500 m
 - $r_{min kk}$ – minimalni konkavni radij: 1200 m

Za nadvoze preko avtocest pa je merodajen estetski pogoj za polmer minimalne vertikalne zaokrožitve $r_{min kv}$ in znaša 2000 m in tudi drugače praviloma uporabljamo elemente, ki so večji od minimalnih.

Pri oblikovanju nivelete ramp smo uporabili maksimalni nagib nivelete pri izvoznih in uvoznih rampah $s = 7\%$. Vertikalne zaokrožitve smo želeli uporabiti čim večje, da so spremembe nagibov čim bolj zložne. Ker sta pri rampah vedno sestavljeni konveksna in konkavna zaokrožitev, upoštevamo načelo, ki določa, da mora znašati velikost polmera konkavnega loka najmanj 2/3 velikosti večjega sosednjega za konveksno zaokrožitev. Vertikalna zaokrožitev pri rampah se na odcepnih in priključnih tangents posamezne rampe začne oziroma konča na mestu, kjer rampa tlorisno zapusti tako tangento oziroma se nanjo priključi. Upoštevati je treba dolžino za spremembo prečnega nagiba na rampi. Če pa le ta ostaja istosmeren pa niveleto rampe definira višina, ki bi jo os rampe imela v prečnem profilu smeri od katere se odceplja oziroma priključuje nanjo.

Pri položnejših, iztegnjenih rampah trobente se nam pojavi problem, saj na območju vijačenja ne moremo zagotoviti vzdolžnega nagiba večjega od $q_{min} = 2,5\%$. Rezultirajoči nagib pa mora biti takšen, da je zagotovljeno učinkovito odvodnjevanje voziščne konstrukcije, kar preprečuje nastanek vodnega klina po kolesi vozil. Zato predlagamo, da se na kritičnih območjih predvidi rešitev bodisi z drenažnim asfaltom ali pa z žlebičenjem asfalta. Oblikovanje rampe na način, da bi dosegli vzdolžni nagib vsaj enak q_{min} , je namreč estetsko povsem neprimerno.

Na območju večnivojskih križanj vozlišča, smo na mestu križanja osi in robov cest razmaknili višine nivelet tako, da je razlika višin na skrajnih robovih cest minimalno 6,5 m, kar zadošča za izvedbo premostitvene konstrukcije, pri čemer lahko poljubno izvedemo tudi prečni nagib, ostane pa še nekaj prostora med prostim profilom spodaj potekajoče ceste (minimalno 4,70 m) in spodnjim robom konstrukcije.

Na območju vozlišča, glavne mestne ceste in vseh pripadajočih ramp ni predvideno vodenje peš in kolesarskega prometa, saj gre za prometnice z višjimi hitrostmi in omejenim dostopom. Na območju nakupovalnega območja pa so že danes pločniki in tam se predvidi tudi njihova ohranitev oz. prilagoditev.

5.4.6 Primerjava z gradbenega vidika

Potrebne gradbene ukrepe, pri čemer smo naredili le grobo oceno količin pri posamezni varianti, kot tudi opis uporabljene obstoječe infrastrukture, podajamo v naslednjem opisu variant. Za korektno primerjavo gradbenih ukrepov definiramo parametre, ki jih določamo na enak način pri vseh variantah. Ne upoštevamo predvidene razširitve avtoceste v šestpasovnico in gradnje glavne mestne ceste, saj je to enako za vse variante. Štiripasovne ceste obravnavamo kot dvopasovnice z dvakratno dolžino. Dvopasovne rampe obravnavamo enako kot dvopasovne ceste. Enopasovne rampe obravnavamo ločeno. Primerjali bomo tudi oceno površine novih voziščnih konstrukcij in oceno površine potrebnih objektov. Pri vsaki varianti bomo primerjali še, katere obstoječe objekte ohranjamo in potrebne ostale gradbene objekte pri posamezni varianti. Pri tej primerjavi po navodilih mentorja ne izvajamo stroškovne primerjave, saj je natančnost v tej fazi načrtovanja še prenizka. Primerjalni parametri so naslednji:

- Dolžina dvopasovnih ramp in cest
- Dolžina enopasovnih ramp in cest
- Dolžina potrebnih objektov
- Površina novih voziščnih konstrukcij
- Površina novih premostitvenih objektov
- Ohranjena obstoječa infrastruktura
- Ostali potrebni gradbeni ukrepi

Varianta 1-1

Pri tej varianti moramo izvesti naslednje gradbene ukrepe

- Dvopasovne ceste dolžine 1500 m
- Enopasovne rampe v skupni dolžini 1650 m
- Tri objekte na območju vozlišča dolžine 700 m, 250 m in 150 m
- 2 krožni križišči na Peruzzijevi cesti polmera $R=30$ m
- V tej varianti ohranimo izvozno rampo iz smeri zahodne strani avtoceste proti Igu dolžine 400 m in Peruzzijevo cesto v celotni dolžini. Potrebna je rušitev dveh stanovanjskih hiš.
- Površina novih voziščnih konstrukcij cest znaša približno 19500 m^2
- Površina premostitvenih objektov znaša približno 8400 m^2

Varianta 2-2

Ta varianta zahteva naslednje objekte, kateri pa so zaradi geometrijskih zahtev precej dolgi in izredno težavni za izvedbo:

- Dvopasovne ceste dolžine 550 m
- Enopasovne rampe dolžine 900 m
- 3 do 4 pasovno krožno cesto dolžine 800 m, ki pa v celoti poteka na objektu zaradi preslabo nosilnih temeljnih tal za gradnjo nasipov
- Širok objekt dolžine 800 m, tri dolžine 160m in po enega dolžin 200 m, 120 m in 100 m.
- T križišče sistema desno-desno
- Spet ohranimo izvozno rampo proti Igu, in krajši del Peruzzijeve ceste kot pri var. 1-1, zrušiti ni potrebno nobenega objekta.
- Površina novih voziščnih konstrukcij znaša približno 18700 m^2
- Površina premostitvenih objektov pa 16200 m^2

Varianta3-2

Pri tej varianti je zaradi oblike vozlišča občutno več ramp na območju razcepa kot pri ostalih variantah. Gradnja obsega:

- Dvopasovne ceste v skupni dolžini približno 1400 m
- Enopasovne rampe dolžine 2300 m
- 4 objekte in sicer dolžine 600 m, 270 m in dva dolžine 200 m
- 2 trikraki semaforizirani križišči na GMC in na zbirni cesti v nakupovalnem območju

- Ohranjena je izvozna rampa proti Igu, Peruzzijska pa se na območju deteljice ukine, na preostalem delu pa ostane v funkciji stanovanjske dostopne ceste. Zrušiti ni potrebno nobenega objekta.
- Površina novih voziščnih konstrukcij je približno 22450 m²
- Površina objektov pa znaša 12420 m²

Varianta 4-1

Imamo podoben potek cestnih povezav kot pri varianti 1-1, zgraditi pa bo potrebno:

- Dvopasovne ceste v skupni dolžini 1400 m
- Enopasovne rampe dolžine 1700 m
- Objekt dolžine 850 m in 2 dolžine 200 m
- Krožno križišče polmera R=40 m
- Trikrako križišče na glavni mestni cesti
- Ohranimo rampo proti Igu in Peruzzijsko cesto v celoti
- Skupna površina novih voziščnih konstrukcij znaša 19150 m²
- Površina objektov pa 8350 m²

Pri vseh variantah ohranimo eno izvozno rampo iz avtoceste. Pri varianti 3-2 ukinemo Peruzzijsko cesto, ki je vzporedna avtocesti, pri varianti 2-2 pa le del te ceste. Rušitev dveh hiš imamo pri varianti 1-1.

Gradbene parametre, ki so bili določeni na podlagi grobe ocene dolžin, pa podajamo v naslednjih preglednicah, ločeno za dolžine in površine. Tudi v primerjavi gradbenih parametrov si za osnovo izberemo varianto 1-1 in parametri te variante so osnova oz. 100 %, medtem ko so ostali podani kot delež osnove.

Preglednica 18: Gradbeni parametri variant - dolžine

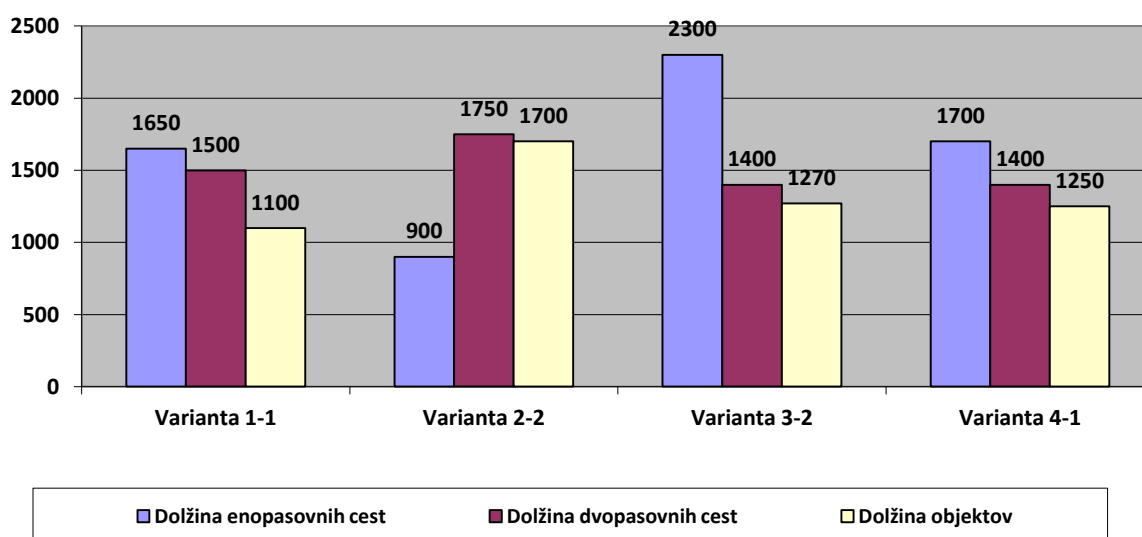
Parameter	Dolžina enopas. cest		Dolžina dvopas. cest		Dolžina objektov	
	Dolžina	%	Dolžina	%	Dolžina	%
Varianta 1-1	1650 m	100,0 %	1500 m	100,0 %	1100 m	100,0 %
Varianta 2-2	900 m	54,5 %	1750 m	116,7 %	1700 m	154,5 %
Varianta 3-2	2300 m	139,4 %	1400 m	93,3 %	1270 m	115,5 %
Varianta 4-1	1700 m	103,0 %	1400 m	93,3 %	1250 m	113,6 %

Preglednica 19: Gradbeni parametri variant - površine

Parameter	Površina voziščnih konstrukcij		Površina objektov	
Var. 1-1	19000 m ²	100,0 %	8200 m ²	100,0 %
Var. 2-2	18700 m ²	98,4 %	16200 m ²	197,6 %
Var. 3-2	22450 m ²	118,2 %	12420 m ²	151,5 %
Var. 4-1	19150 m ²	100,7 %	8350 m ²	101,8 %

V prvem primerjalnem grafikonu podajamo primerjavo dolžin cest in objektov. Po parametru dolžin cest je najmanj primerna varianta 3-2, ki se je že pri prometni primerjavi izkazala za najslabšo. Najmanjšo dolžino cest ima varianta 2-2, medtem ko sta varianti 1-1 in 4-1 po tem kriteriju skoraj povsem izenačeni. Z vidika dolžine objektov pa je najmanj primerna varianta 2-2, poleg tega pa je še posebej težaven njihov niveletni potek. Dolžine objektov pri ostalih variantah so skoraj izenačene, pri čemer je varianta 1-1 po tem kriteriju najboljša. Skupna dolžina ramp pri varianti 2-2 je sicer najmanjša a vseeno je nezmožnost korektnega niveletnega vodenja njihovih osi zelo negativen dejavnik pri izbiri najprimernejše oblike. Zanimiva je ugotovitev, da je kljub najmanjši skupni dolžini ramp v varianti 2-2, skupno število opravljenih kilometrov skoraj enako kot pri ostalih variantah, kar smo ugotovili pri primerjavi prometnih parametrov. Temu verjetno botruje osnovna oblika krožnega prometa, ki zahteva vožnjo v krogu za izbiro končne smeri.

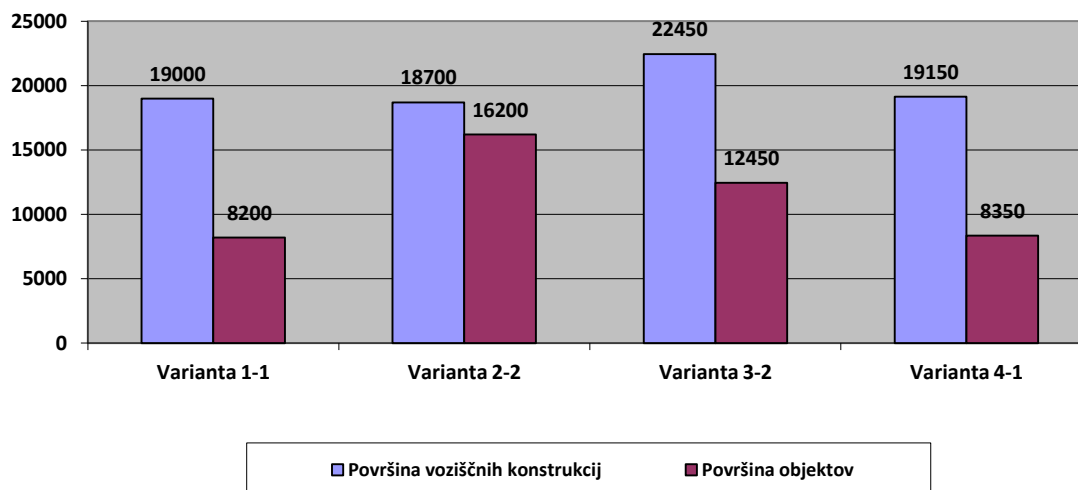
Grafikon 8: Primerjava ocenjenih gradbenih dolžin (v metrih)



V drugem grafikonu pa predstavljamo še primerjavo površin voziščnih konstrukcij kot tudi objektov za vse štiri variante. Z vidika površine voziščnih konstrukcij se pričakovano najslabše obnese varianta 3-2, medtem ko so ostale tri variante skoraj izenačene, pri čemer je še najprimernejša varianta 2-2. Po parametru, ki pa tudi predstavlja največje stroške pri izgradnji prometnic, torej površini objektov pa se

daleč najslabše izkaže varianta 2-2, varianta 3-2, je malenkost boljša, toda občutno najmanj objektov je potrebnih pri variantah 1-1- in 4-1.

Grafikon 9: Primerjava ocenjenih površin (v kvadratnih metrih)



Zgornja grafikona jasno kažeta, da lahko varianto 3-2 ocenimo kot manj primerno že zaradi neprimerljivo večje dolžine potrebnih novih cest, kot tudi njihove velike površine. Precej velika je tudi površina potrebnih objektov. Z gradbenega vidika zaradi velikega števila, dolžin in površine objektov enako ocenimo tudi varianto 2-2, čeprav skupna dolžina cest ni največja. Kot bolj primerni pa ocenimo varianti 1-1 in 4-2, saj je količina in površina objektov v teh variantah najmanjša, primernejše pa je tudi razmerje med celotno površino voziščnih konstrukcij in površino objektov in znaša približno 2:1.

5.5 Predlagana najprimernejša varianta

Na podlagi prometne in gradbene primerjave lahko izberemo najprimernejšo varianto za nadaljnjo obravnavo in morebitno implementacijo v prihodnosti. Takoj smo zaključili, da obstoječe stanje bodočim prometnim obremenitvam ne bo ustrezalo. Križanje v obliki deteljice se je prometnega vidika pokazalo kot povsem neustrezno za predvidene prometne obremenitve, poleg tega pa ustvari še dodatne stroške z dvema semaforiziranimi križiščema za učinkovito upravljanje prometa.

Primerjava možnosti nastanka prometnih nesreč s pomočjo analiziranja konfliktnih točk je prav tako pokazala varianto 3-2 kot povsem neprimerno. Varianta 2-2 je v tem smislu najprimernejša, le malenkost slabše se obnese varianta 4-1, medtem ko je varianta 1-1 še malo manj primerna kot varianta 4-1. V gradbenem oziru na izbiro ostanejo še variante 1-1, 2-2 in 4-1.

Varianta 2-2- je s prometnega in varnostnega vidika zadovoljiva, z gradbenega pa povsem neustrezna in je kot takšne ne moremo utemeljeno predlagati kot primerno inženirsko rešitev. Tudi z vidika krajinske arhitekture bi precej velik objekt za vodenje krožne ceste in objekti za priključne rampe predstavljal tujek v prostoru. Poleg tega pa ostaja še bojazen, da bi v kratkem času prišlo do drugačne, večje prometne obremenitve in krožni promet ne bi več primerno funkcioniral. To se je pokazalo na krožnem prometu na krožišču Tomačevem (na ljubljanski severni obvoznici), katerega je bilo zato potrebno naknadno preurediti in opremiti z zapletenim in dragim semaforiskim sistemom.

Ostaneta nam varianti 1-1 in 4-1. Varianti sta po posameznih parametrih precej različni. Ker stroškovna ocena (po navodilu mentorja) ni bila narejena, lahko varianti dovolj točno primerjamo le glede na prometno učinkovitost, glede na količino posameznih gradbenih ukrepov pa le z grobo oceno.

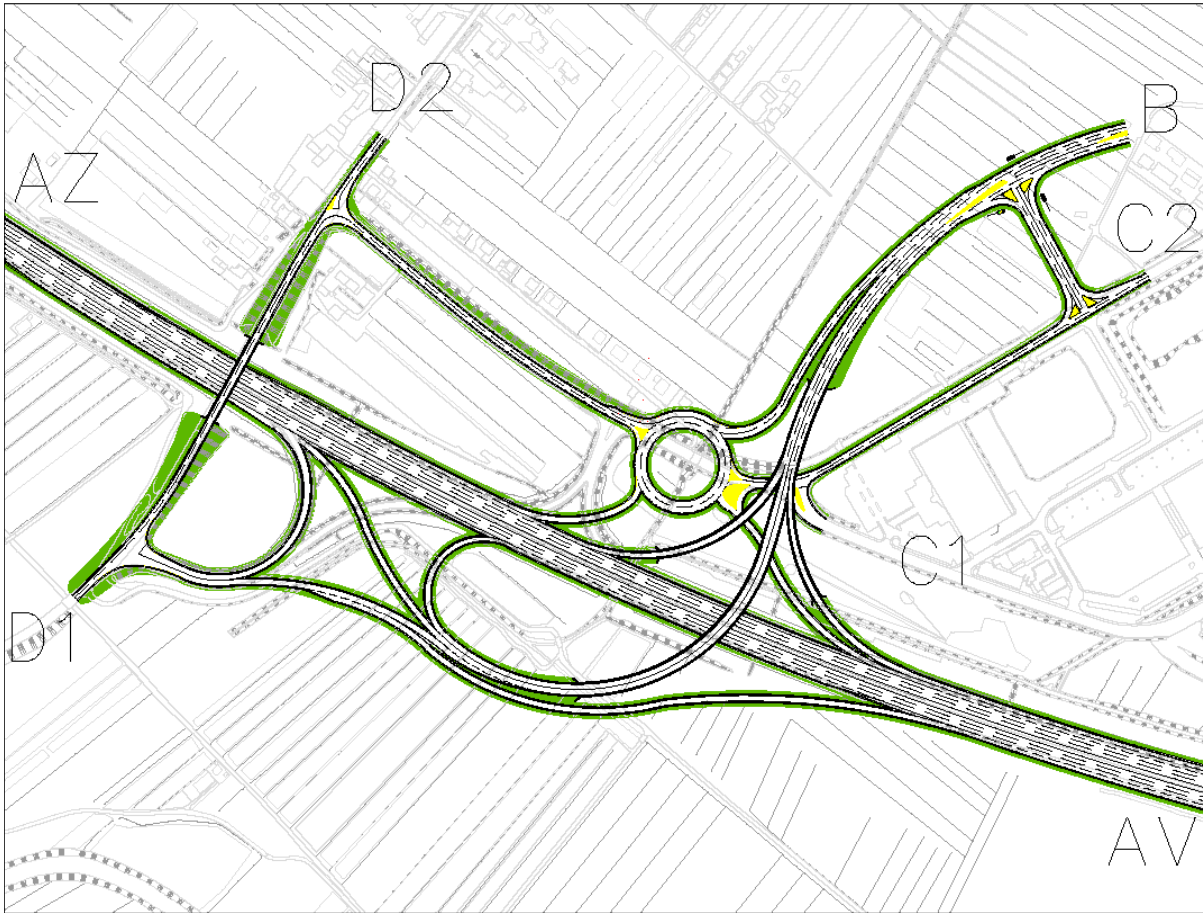
Najznačilnejše razlike pri varianti 1-1:

- prometno in varnostno se precej slabše obnese kot varianta 4-1,
- zgraditi je treba dve krožni križišči in trikrako nesemaforizirano križišče,
- zahteva dokaj velik gradbeni poseg v območje zahodno od glavne mestne ceste, pri čemer je treba porušiti dve stanovanjski hiši ob Peruzzijski cesti.

Najznačilnejše razlike pri varianti 4-1:

- s prometnega in varnostnega vidika je skoraj enako dobro učinkovita kot varianta 2-2, ki smo jo izločili iz izvedbenih (gradbenih) razlogov
- zahteva le malenkost večje gradbene objekte kot varianta 1-1
- zgraditi je treba eno krožno križišče, eno trikrako križišče in eno dodatno rampo zahodno od glavne mestne ceste, ki le minimalno posega v zahodno območje, pri čemer rušitev hiš ni potrebna.

Na podlagi vseh izvedenih primerjav kot najprimernejšo varianto izberemo varianto 4-1.



Slika 52: Shema prometne ureditve izbrane variante

6 ZAKLJUČEK

Iskanje primerne oblike cestnega vozlišča je več kot le izbira načina vodenja povezav in nato njihovo optimiranje. Le upoštevanje prometne obremenitve, lastnosti povezav v vozlišču in morfologijo terena lahko začnemo z začetnim poskušanjem iskanja primerne oblike. Skozi celotno delo smo nekako prikazali celoten potek načrtovanja cestnih vozlišč.

Po pregledu osnovnih okoliščin na obstoječem priključku in obenem območju novega vozlišča ter najpomembnejše prometnih obremenitev v planski dobi, so nam poznane oblike večnivojskih priključkov in vozlišč služile le za osnovo, na katero smo potem dodajali ostale povezave, katere so bile podrejene najbolj obremenjenim prometnim smerem.

Po izločitvi očitno slabih podvariant smo z detajlnejšo prometno analizo poiskali prometno najprimernejšo rešitev, ki je bila zajeta v varianti 2-2. Ta pa v skupnem seštevku zagotovo ni tudi tista, ki bi jo izbrali kot končno. Tudi ocena varnosti s pomočjo konfliktnih točk je pokazala najboljše stanje prometne varnosti v varianti 2-2, kateremu pa se je zelo približala tudi varianta 4-1. Tudi z vidika dolžin potrebnih novih cest je sicer bila najboljša varianta 2-2, a je zaradi danosti prostora na tem območju izpadla iz ožjega izbora zaradi največje dolžine in površine potrebnih objektov in težavnega niveletnega poteka krožnega prometa in pripadajočih ramp.

Gradbena primerjava je pokazala rešitev, ki zahteva najmanjše stroške z vidika potrebnih novogradenj, a tudi ta rešitev ni bila izbrana kot najprimernejša, saj se s prometnega vidika ni izkazala dobro. Kot se zgodi največkrat je bila kot najprimernejša ocenjena varianta, ki je kompromis, ki za sorazmerno nizke stroške izgradnje zagotavlja sorazmerno zelo dobre prometne razmere, to je varianta 4-1.

V primerjavo variant bi lahko vključili še mnogo drugačnih rešitev, ki pa se po osnovnih oblikah ne bi več pretirano razlikovale ob izbranih, ki so bile nekakšni predstavniki posameznih oblik. Še zmeraj se lahko v naslednji fazi projektiranja preveri malenkostne spremembe v vodenju ramp, ki pa ne bodo mogle več bistveno vplivati na potek prometa na tem območju.

Tehnična specifikacija za ceste TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča« narekuje predhodne analize izbrane oblike vozlišča. Ni pa predvidena tako detajlna primerjava z vidika prometne uspešnosti in varnosti večih različnih oblik, kakršno smo izvedli na primeru vozlišča LJ Rudnik. Pri čemer je potrebno poudariti, da je to faza idejne zasnove. Zaradi tega tekom preučevanja niso bili upoštevani vsi pogoji, ki so določeni v tej specifikaciji, saj na tem mestu vsi niti niso pomembni, so bile pa opravljene analize, ki se v idejni zasnovi ne predvidevajo.

Predlagana oblika vozlišča bo tudi oblikovno primerna vstopna točka v mesto, kamor se bo peljalo po novi glavni mestni cesti. Traso te ceste bo treba še raziskati, ker ima na svoji poti vsaj 3 prometno in prostorsko zelo zahtevne točke: zelo zahtevno križišče z Dolenjsko cesto, obstoječo mestno vpadnico, ki bo definiralo tudi lokacijo južnega portala predora, način izvedbe predora in izstopni portal s križiščem z Litijško cesto na severni strani Golovca. Zaradi zapletenih prostorskih razmer (gosto zazidano območje) bo treba tudi za te točke poiskati neke unikatne rešitve, ki bodo omogočale vstopanje v predor iz cest, ki sedaj potekajo prečno na predvideno os nove ceste.

Kot vsaka gradbena konstrukcija, je tudi tu izbrana in predlagana rešitev unikat, ki najbolje ustreza danim prometnim obremenitvam. S sledenjem korakov te diplomske naloge, bi na podoben način lahko poiskali rešitve za katerokoli cestno vozlišče, v katerega so vključeni ne samo prometni tokovi glavne prometne smeri ampak tudi tokovi sekundarnih cest cestne mreže.

VIRI

Cestni obroči Ljubljane. 2012.

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=602284&page=105> (Pridobljeno 2. 12. 2012.)

Chappell, E. 2011. AutoCAD civil 3D 2012 essentials: Autodesk official training guide. San Francisco, Wiley Technology Pub: loč. pag.

Dnevne migracije v Ljubljani. 2012.

http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4665 (Pridobljeno 12. 11. 2012.)

Gomboši, B. A. 2010. Idejna zasnova preureditve križišča Tržaška cesta – AC priključek Ljubljana zahod. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B.A. Gomboši): str. 19-25.

HCS+ guide 2005. Florida, University of Florida, McTrans: loč. pag.

Katanič, J., Andjus, V., Maletin, M. 1982. Projektovanje puteva. Beograd, Građevinska knjiga: str. 292-305.

Krajinski park Ljubljansko barje. 2012.

<http://www.ljubljanskobarje.si/zemljevid/2> (Pridobljeno 3. 12. 2012.)

Leban, L. 2009. Osnove programa AutoCAD Civil 3D: Uporabniški priročnik za tečaj. Ljubljana, CGS Plus d.o.o.: loč. pag.

Maher, T. 2007. Teorija prometnega toka: skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Notranji cestni obroč Ljubljane. 2012.

http://www.siol.net/avtomoto/zanimivosti/reportaze/2011/09/kdaj_bo_v_ljubljani_sklenjen_notranji_pometni_obroc.aspx (Pridobljeno 1. 12. 2012.)

Občinski prostorski načrt mestne občine Ljubljana. 2010.

https://urbanizem.ljubljana.si/index3/OPN_MOL_ID.htm (Pridobljeno 10. 11. 2012.)

Peternel, J. 2012. Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba J. Peternel): str. 56-67.

Pravilnik o projektiranju cest. Ljubljana. Uradni list RS št 91/2005.

Promet Ljubljana 2009. Strokovna raziskava, PNZ d.o.o., 2009.

Pu, L., Joshi, R. 2008. SSAM Software user manual. Tucson, Siemens energy and automation inc: loč. pag.

Trdin, I., 2000. Zasnova priključevanja hitre ceste v tretji razvojni osi na avtocesto pri Trebnjem. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba I. Trdin): str. 38-56.

TSC 03.343 Večnivojski priključki in vozlišča 2002. Ljubljana, Direkcija republike Slovenije za ceste: loč pag.

Večnivojski priključki in vozlišča. 2013.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Izvennivojsko_kri%C5%BEanje (Pridobljeno 5.1.2013.)

<http://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6henfreiheit> (Pridobljeno 5. 1 2013.)

http://en.wikipedia.org/wiki/Grade_separation (Pridobljeno 7. 1. 2013.)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Autobahnkreuz> (Pridobljeno 7. 1. 2013.)

http://en.wikipedia.org/wiki/Interchange_%28road%29 (Pridobljeno 10. 1. 2013.)

Vissim 5.30-05 User manual 2011. Karlsruhe, PTV AG: loč. pag.

Vižintin, E. 2000. Uporaba modelov za simulacijo prometa na avtocestah in hitrih cestah kot pomoč pri projektiranju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba E. Vižintin): str. 11-14.

PRILOGE

A Predhodni izračuni po metodologiji HCM

- A.1 Vpletanje vozil na AC proti zahodu $V=40$ km/h
- A.2 Vpletanje vozil na AC proti zahodu $V=60$ km/h
- A.3 Izpletanje vozil iz zahoda $V=40$ km/h
- A.4 Izpletanje vozil iz zahoda $V=60$ km/h
- A.5 Prepletanje vozil na smeri deteljice Z-V, dolžina prepletanja 100 m
- A.6 Prepletanje vozil na smeri deteljice Z-V, dolžina prepletanja 200 m

B Vzдолžni profili ramp vozlišča

- B.1 Varianta 1-1, risba 1
- B.2 Varianta 1-1, risba 2
- B.3 Varianta 2-2, risba 1
- B.4 Varianta 2-2, risba 2
- B.5 Varianta 2-2, risba 3
- B.6 Varianta 3-2, risba 1
- B.7 Varianta 3-2, risba 2
- B.8 Varianta 3-2, risba 3
- B.9 Varianta 3-2, risba 4
- B.10 Varianta 4-1, risba 1
- B.11 Varianta 4-1, risba 2

C Slike prometne mreže v simulaciji

- C.1 Varianta 1-1
- C.2 Varianta 2-2
- C.3 Varianta 3-2
- C.4 Varianta 4-1

D Risba situacije izbrane variante

- D.1 Shema prometne ureditve variante 4-1