

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,
Prometnotehnična smer

Kandidat:

Uroš Gregorec

Vodenje linij posameznih pasov skozi križišče

Diplomska naloga št.: 325

Mentor:
doc. dr. Alojzij Juvanc

Ljubljana, 25. 11. 2008

ERRATA

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani UROŠ GREGOREC izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z
naslovom: »VODNJE LINIJ POSAMEZNIH VOZNIH PASOV SKOZI KRIŽIŠČE«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 5.11.2008

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|------------------|---|
| UDK: | 625.739(043.2) |
| Avtor: | Uroš Gregorec |
| Mentor: | doc. dr. Alojzij Juvanc, univ. dipl. inž. grad. |
| Naslov: | Vodenje linij posameznih vozni pasov skozi križišče |
| Obseg in oprema: | 56 str., 31 sl., 5 en. |
| Ključne besede: | križišče, vodenje linij, razširitvena dolžina, pravila projektiranja |
| Izvleček | <p>Vožnja skozi križišča se zelo razlikuje od vožnje na odprti cesti. Posledično tu veljajo posebna pravila gradnje teh objektov. Zanima nas, če oblika zgrajenih linij v križiščih ustreza dejanskim potrebam vožnje. Pogledali bomo obliko zgrajenih linij pri minimalnih mejnih vrednostih in jih primerjali z dejanskimi linijami vožnje. Poudarki so na razširitvenih dolžinah, velikosti uvoznih in izvoznih polmerov ter prevoznost direktnih tokov v križiščih, kjer se kot med sekajočima se smerema razlikuje od kota devetdesetih stopinj.</p> |

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC: 625.739(043.2)
- Author: Uroš Gregorec
- Supervisor: asist. prof. dr. Alojzij Juvanc, univ. dipl. inž. grad.
- Title: LEADING OF EACH SINGLE TRAFFIC-LANE THROUGH INTERSECTION
- Notes: 56 p., 31 fig., 5 eq.
- Key words: intersection/crossroad, road-axis, additional lanes inside intersection, designing rules
- Abstract A ride through an intersection differs from a ride on an open road. Consecutively here, special designing rules of construction of communication facilities are valid. Our greatest interest is the configuration/shape of the constructed lines at intersections and if the abovementioned meet real needs of ride. We are going to take a look at configurations and shapes of these lines at minimal threshold values and compare them to actual lines of ride. The points are on expanding lengths, sizes of imports and exports of radii and transportability of direct traffic currents at intersections, as the angles between bisecting directions differ from ninety degrees.

ZAHVALA

Zahvalil bi se svojim staršema in Branki, ki so me podpirali in spodbujali v času študija.

KAZALO VSEBINE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD | 1 |
| 2 | NIVOJSKA KRIŽIŠČA OBLIK X IN T | 2 |
| 2.1 | Relacija med primarnim in sekundarnim tokom | 3 |
| 2.2 | Tipologija nivojskih križišč | 4 |
| 2.3 | Konfliktne točke | 5 |
| 2.4 | Karakteristična področja nivojskih križišč | 5 |
| 2.5 | Princip kanaliziranja | 6 |
| 2.6 | Ločevanje po vrsti in številu direktno prevoznih smeri | 7 |
| 2.7 | Geometrijsko oblikovanje križišč | 8 |
| 2.8 | Prečni profil | 10 |
| 2.9 | Zaporedje geometrijske obdelave križišča | 12 |
| 3 | KROŽNO KRIŽIŠČE | 14 |
| 3.1 | Osnovni elementi | 14 |
| 3.2 | Oblika elementov | 15 |
| 3.3 | Delitev krožnih križišč | 17 |
| 3.4 | Oblika uvoza | 19 |
| 3.5 | Hitrost v krožnem križišču | 19 |
| 4 | OPIS PRIPRAVE PODATKOV ZA OBRAVNAVANA KRIŽIŠČA | 21 |
| 4.1 | Ortofoto | 21 |
| 4.2 | Plateia 6.03 | 22 |
| 4.2.1 | Majhni polmeri | 22 |
| 5 | VODENJE LINIJ SKOZI KRIŽIŠČE | 24 |
| 5.1 | Teoretični primer | 24 |
| 5.1.1 | Križišče z osjo primarnega toka v premi | 24 |
| 5.1.2 | Križišče z osjo primarnega toka v krivini | 27 |
| 5.1.3 | Podaljšana razširitvena dolžina | 31 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 6 | PREHODNOST KRIŽIŠČA ZA ZAVIJALCE | 33 |
| 6.1 | Levi zavijalci | 33 |
| 6.1.1 | Teoretični primer za kot križanja $\alpha = 90^\circ$ | 34 |
| 6.1.2 | Teoretični primer za kot križanja $\alpha = 75^\circ$ | 35 |
| 7 | PRIMERI KRIŽIŠČ | 38 |
| 7.1 | Dodan pas za leve zavijalce | 38 |
| 7.2 | Primarni tok v zavoju | 42 |
| 7.3 | Krožno križišče | 47 |
| 7.4 | Situacija iz arhiva | 51 |
| 8 | ZAKLJUČEK | 54 |
| | VIRI | 56 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Situacija razširitve na primarni smeri v premi | 25 |
| Slika 2: Izometrija razširitve na primarni smeri v premi | 26 |
| Slika 3: Situacija razširitve na primarni smeri v krivini | 28 |
| Slika 4: Izometrija uvoza na primarni smeri v krivini | 29 |
| Slika 5: Situacija izvoza pri glavni osi v krivini | 30 |
| Slika 6: Izometrija izvoza pri glavni osi v krivini | 30 |
| Slika 7: Situacija podaljšane razširitve | 31 |
| Slika 8: Izometrični pogled na podaljšano razširitev | 32 |
| Slika 9: Pokrito področje levega zavijanja s sekundarne na primarno smer | 35 |
| Slika 10: Pokrito področje levih zavijalcev s primarne smeri | 36 |
| Slika 11: Pokrito področje levega zavijanja s sekundarne na primarno smer | 37 |
| Slika 12: Fotografija razširitvenega pasu | 38 |
| Slika 13: T križišče z izrisanimi voznimi linijami | 39 |
| Slika 14: T križišče z naknadno izvedenim pasom za leve zavijalce | 40 |
| Slika 15: Označitev robov vozne linije | 41 |
| Slika 16: T križišče z izrisanimi voznimi linijami | 42 |
| Slika 17: Vodenje glavnega toka skozi križišče | 43 |
| Slika 18: Os kraka na glavnem toku | 44 |
| Slika 19: Razširitev na stranskem kraku | 45 |
| Slika 20: Vodenje linije naravnost | 45 |
| Slika 21: Primarna os zavija | 46 |
| Slika 22: Erozija bankine | 47 |
| Slika 23: Krožno križišče | 48 |
| Slika 24: Erozija bankine na izvozu | 49 |
| Slika 25: Erozija na notranji strani krožnega toka | 49 |
| Slika 26: Dejansko stanje | 50 |
| Slika 27: Prilagojeni elementi | 50 |
| Slika 28: Dejansko stanje | 50 |
| Slika 29: Prilagojeni elementi | 50 |
| Slika 30: Situacija rekonstrukcije T križišča | 52 |

Slika 31: Vozne linije na glavnem toku

53

1 UVOD

Prometnice se med seboj spajajo in križajo, zato na teh mestih nastane potreba po funkcionalnih objektih, ki zagotavljajo primerno pretočnost in varnost. Izvedejo se križišča. Da ta križišča zagotovijo ustrezní nivo uslug, jih je potrebno primerno oblikovati. V ta namen so napisani predpisi in izdelane tehnične smernice za različne oblike križišč. Glavni cilj te naloge je preveriti, če je vodenje linij v in skozi križišče, izvedeno v skladu s pravili o projektiranju, urejeno tako, da pri vožnji ne prihaja do odstopanj na posameznem vozni pasu. Namen je ugotoviti, če so mejni pogoji za vodenje linije vozni pasov, ki so sedaj uporabljeni, pravilno definirani, če naj križišče omogoča dobro prevoznost in zagotavlja splošno varnost.

V nalogi so predstavljene vse vrste nivojskih križišč, ki jih poznamo v slovenskem prostoru. Opisana je razdelitev po obliki in namenu in povzeta so navodila za projektiranje in oblikovanje. Problemi so predstavljeni na teoretičnih zasnovah, kjer je pokazano kako projektanti upoštevajo pravila pri načrtovanju in kje nastopijo pomanjkljivosti. Za potrditev je na koncu predstavljeno nekaj zgrajenih križišč, na katerih so prikazana morebitna odstopanja vozni linij od oblike križišča. Izven nivojska križišča po navodilu mentorja niso predmet obdelave v tej nalogi.

2 NIVOJSKA KRIŽIŠČA OBLIK X IN T

Nivojsko križišče je prometna površina, na kateri se v isti ravnini križata ali združujeta dve ali več cest. Zaradi prepletanja predstavlja več različnih prometnih tokov nevarnost in tveganje za vsakega od udeležencev: največkrat so to različna vozila, pogosto tudi drugi udeleženci v cestnem prometu, zlasti pešci. Sestavni del križišča so tudi prehodi za pešce in prehodi kolesarskih stez; razvrstilni prometni pasovi ne sodijo neposredno h križišču, prištevamo jih k širšemu območju križišča.

Vključevanje v drug prometni tok v križišču je zahtevno opravilo, saj mora voznik dobro poznati in upoštevati prometno signalizacijo in številna prometna pravila, zlasti pravila o prednosti, pri čemer so posebej zahtevne kombinacije prometnih pravil in prometnih znakov. Da lahko prepozna prometno ureditev se mora udeleženec v prometu križišču približevati skrajno previdno in s primerno hitrostjo, da, če je potrebno, varno ustavi ali spusti mimo vozila in druge udeležence cestnega prometa, ki imajo v križišču prednost.

Ko se približuje križišču, se mora voznik, glede na smer nadaljnje vožnje na ustrezni razdalji pred njim, razvrstiti za zavijanje v levo na levo stran smernega vozišča ali na prometni pas za zavijanje v levo, za vožnjo naravnost na desno stran smernega vozišča ali na prometni pas za vožnjo naravnost, za zavijanje v desno na desno stran smernega vozišča ali na prometni pas za zavijanje v desno, kot je določeno s prometno signalizacijo, če je razvrščanje urejeno na tak način.

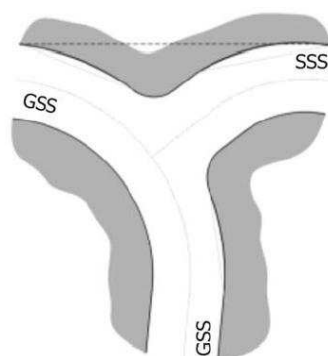
Voznik, ki v križišču zavija levo, mora zapeljati do sredine križišča, razen če s prometno signalizacijo ni določeno drugače ali če tega ne dopušča promet iz nasprotne smeri. Za to sta vsaj dva dobra razloga: hitreje lahko zapusti križišče, ob tem pa ga vozniki, ki pri spremenjeni semaforški fazi vozijo v križišče iz bočnih smeri, lažje opazijo in mu omogočijo, da zapusti križišče. V vseh križiščih, razen na krožnem, je menjava prometnega pasu prepovedana. Ta prepoved pa velja samo za križišča, iz katerih vodita v določeno smer najmanj dva prometna pasova. Voznik, ki na križišče pripelje po edinem prometnem pasu za zavijanje in zavija na smerno vozišče z dvema ali več prometnimi pasovi, sme zapeljati na kateregakoli od teh

pasov, razen če istočasno zavija na istosmerno vozišče tudi voznik, ki prihaja iz nasprotne smeri. V takem primeru zapelje voznik, ki zavija v levo, na levi prometni pas, voznik, ki zavija v desno, pa na desni prometni pas tega smernega vozišča. (Vir: *internet, ZVCP*)

2.1 Relacija med primarnim in sekundarnim tokom

Nivojska križišča ločimo na tri osnovne tipe; trikraka, štirikraka in krožna križišča. Prvi dve skupini temeljita na sekanju prometnih tokov, pri tretji pa se tokovi zgolj prepletajo, odcepljajo ali združujejo.

Pri trikrakih križiščih se sekundarni tok pod pravim kotom $\alpha = 90^\circ$, z dovoljenim odstopanjem v velikosti 15° , priključi na primarni tok. Pri tem ostane promet na primarnem toku neoviran. V primeru, da je primarni tok speljan tako, da zavija, je potrebno to smer oblikovati nedvoumno. Enako velja za primer štirikrakega križišča, kjer prevladuje tok vozil, ki zavijajo na levo. Če je povečan samo tok zavijalcev na desno, se izvede ločen pas za desne zavijalce.



Slika: Pravilno vodenje primarnega toka (GSS) v trikrakih križiščih

(Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 19)

2.2 Tipologija nivojskih križišč.

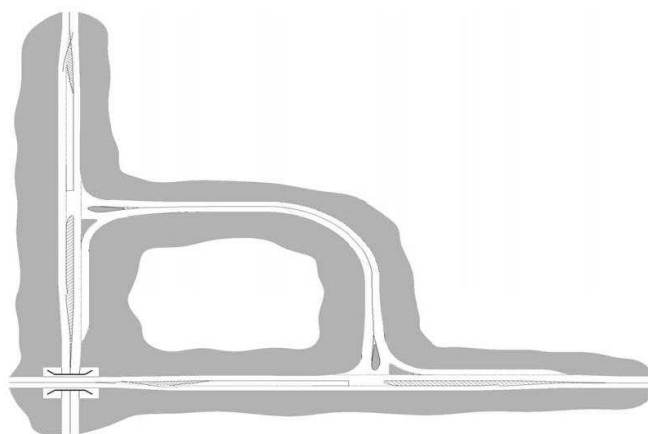
Tipi nivojskih križišč se med seboj v glavnem ločijo po karakteristiki sekajočih se smeri, stopnjo členjenja prometnih tokov in prisotnost svetlobne signalizacije. Poleg tega tipi križišč v določenih pogledih izhajajo iz funkcionalne klasifikacije, ki temelji na hitrosti in količini vozil na posameznih smereh. Seveda lahko pride do odstopanj zaradi prometnega programa križišča in prostorskih omejitev.

Tip 1 predstavlja najosnovnejše križanje cest. Primeren je za malo prometno obremenitev, ki jo običajno srečujemo na lokalnih cestah in kjer ni potrebe po ločenih pasovih za zavijalce. Velja pogoj, da morata biti na sekundarni smeri v minimalni dolžini 25 metrov, vsaj dva vozna pasova; v primeru štirikrakega križišča pa je primerna izvedba otokov v obliki kapljice. Za prometno ureditev je dovolj, če zagotovimo varno preglednost in križišče opremimo s primerno prometno signalizacijo.

Tip 2 prenese male do srednje prometne obremenitve. Na primernem toku se izvede ločene pasove za leve zavijalce in otok v obliki trikotnika za desne zavijalce. Pas za desne zavijalce je možen, ni pa nujen. Na sekundarni smeri so obvezno otoki v obliki kapljice, ki zagotovijo kanalizirano vodenje.

Tip 3 je primeren za projektiranje križišč na glavnih in regionalnih cestah. Primarni tok ima štiri ali več pasov, tako je potrebno narediti pasove za leve in desne zavijalce ter fizično kanaliziranje sekundarnih smeri. Obvezna je uporaba semaforjev.

Tip 4 se uporabi za ceste, ki se križajo v različnih nivojih ali kjer je gostota prometa zelo velika. Tip 4 je tudi rešitev, kadar je gostota prometa prevelika za uporabo semaforiziranega križišča ali kadar je nemogoče zagotoviti primerne dolžine razvrstilnih trakov. Dolžini povezujočih delov nista enaki, ampak je vedno daljša tista, ki se navezuje na nižjo ležečo cesto.



Slika: Tip 4 (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 25)

2.3 Konfliktne točke

Promet se v nivojskih križiščih odvija na omejenem prostoru in več prometnih tokov se medsebojno prepleta. Med dvema prometnima tokovoma z različnima smerema se pojavijo naslednje prometne operacije; križanje, prepletanje, priključevanje oziroma odcepljanje.

V teoriji ima štirikrako križišče 32 konfliktnih točk in sicer: 16 križanj, 8 odcepljanj in 8 združevanj. Običajno trokrako križišče pa ima 3 križanja, 3 odcepljanja in 3 združevanja.

2.4 Karakteristična področja nivojskih križišč

Za uspešno reguliranje prometnih tokov je potrebno ločiti smeri vozila, ki zavijajo na desno, na levo ali vozijo naravnost. Smeri so razvrščene v več prometnih tokov. Razvrščanje in kanaliziranje je bistvenega pomena za varnost v križišču, dogaja se na širšem področju križišča, imenovanem funkcionalno področje.

Področje zaznave nastopi na začetku funkcionalnega področja križišča. V tej zaznavi mora voznik, odvisno od njegove smeri vožnje skozi križišče, zbrati vse potrebne podatke glede na

splošna pravila vožnje in primerne prometne signalizacije. Dolžina te cone je odvisna od karakteristike voznika in zapletenosti naloge, ki je pred njim.

Področje razvrščanja ima funkcijo zmanjševanja hitrosti vozil in izbor oziroma menjavanje voznih pasov. V področju za menjavanje prometnih pasov se vozila razvrstijo po prometnih tokovih, ki so namenjena njihovi smeri zavijanja. V primeru, da je prosti tok onemogočen (ni prednosti oz. rdeča luč na semaforju), se morajo vozila v tem območju ustaviti brez menjave pasov. Področje konfliktnih točk obsega ves prostor križišča, na katerem imata dve vozni liniji skupno površino. Na tej površini prihaja do možnosti trka vozil oziroma pešcev ali kolesarjev. To območje se prične z linijo ustavljanja in se konča, ko linija prečka zadnji prehod za pešce.

Področje pospeševanja se prične takoj za nivojskim križiščem, oziroma takoj za zadnjim prehodom za pešce. Vozila na tem delu pospešujejo do dovoljene hitrosti na odseku ceste, dolžina področja je lahko različna. (Vir: *Maletin, 2005, str.: 205 – 207*)

2.5 Princip kanaliziranja

Vodenje posamičnih tokov skozi konfliktna področja se uravnava z elementi, kot so otoki in linije robov vozišča, ki so lahko označeni s horizontalno signalizacijo ali pa z dvignjenimi robniki. V principu kanaliziranje predstavlja ureditev križišč v nivoju, kjer ima vsak prometni tok ali pa vsaj eden med njimi, zagotovljeno posebno prometno območje.

Kanaliziranje zmanjša število dejanskih konfliktnih točk. Tako voznik lahko rešuje en problem naenkrat. Največji problem se pojavi pri levih zavijalcih, kjer je linija prekinjena z nasprotnim prometom. Tu se presečne točke od voznika do voznika bistveno razlikujejo; linije tako opišejo več presečnih točk. Z uporabo otoka na primarni in sekundarni smeri, lahko razpon teh presečnih točk omejimo.

Posebno pozornost pri načrtovanju zahteva oblika voznega pasu, ki ne sme predstavljati ovire ali nelogične prisile vožnje. Potek linije mora biti jasen in mora sovpadati s karakteristikami

cest, ki se križajo. Zato je bistveno, da se oblikujejo na način, ki preprečuje napačno vožnjo, hkrati pa zagotavlja zaščito pred drugimi prometnimi tokovi. Kanaliziranje naj pri oblikovanju glavnih tokov minimalno vpliva na potek linije. (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 13)

2.6 Ločevanje po vrsti in številu direktno prevoznih smeri

Direktno prevozna smer pomeni, da imajo vozniki v primeru zelene luči ali nesemaforiziranega križišča prednost in lahko prosto nadaljujejo vožnjo brez ustavljanja. Poznamo več vrst križišč z različnimi režimi vodenja prometa. Ti so uravnavani s smerjo poteka prednostne ceste in prisotnostjo semaforizacije. Tako se oblikujejo križišča, ki imajo različno število smeri, preko katerih je križišče možno prevoziti direktno. Za obravnavanje teme o voznih linijah, je potrebno ločiti križišča v dve skupini.

V prvo skupino spadajo križišča, ki imajo dve direktno prevozni smeri. To sta običajno vozni smeri na primarnem toku in sta medsebojno nasprotno usmerjeni. Taka oblika direktnih pasov je možna na vseh križiščih, ne glede na prisotnost semaforjev. Ostale smeri v križišču nimajo prednosti.

K drugi skupini spadajo križišča s tremi ali več smermi, ki so direktno prevozne. Poleg dveh smeri na primarnem toku, se oblikujejo še dodatne smeri kot rezultat režima semaforizacije. V primeru, da je tok levih zavijalcev močan, je v semaforiziranih križiščih lahko ločena faza zelene luči za leve zavijalce in v takem primeru nastane dodatna direktna prevozna smer v obliki levih zavijalcev. Enak princip velja za desne zavijalce, tako da so lahko štiri direktne smeri v enem križišču. Vendar je za desne zavijalce pogosteje urejen ločen pas, na katerem je prednost vozilom pri vključevanju odvzeta.

2.7 Geometrijsko oblikovanje križišč

Oblikovanje križišč se izvaja s projektnimi linijami določenih geometrijskih zakonitosti, ki morajo slediti vožnji vozil na širšem področju križišča. Tako kot pri trasiranju prometnic, je tudi tu potrebno uporabiti projektne elemente, ki so odvisni od pretočnosti in varnosti pri vožnji. Pri tem pogosto prihaja do uporabe mejnih geometrijskih elementov, za katere ni nujno, da so optimalni. Seveda je pri izračunih potrebno uporabljati reducirano računsko hitrost.

Pri oblikovanju nivojskih križišč nastaja najmanj problemov na obstoječih prometnicah s sredinskim razdelilnim pasom. Ta pas uporabimo za izvedbo pasu za leve zavijalce, ne da bi spremenili potek glavne smeri. Mnogo večji problemi se pojavijo pri prometnicah, ki v svojem profilu nimajo sredinskega razdelilnega pasu. To je zelo pogost pojav pri rekonstrukciji obstoječih prometnic. V takih okoliščinah je potrebno uporabiti nestandardne elemente, katerih oblika je odvisna od lokalnih pogojev na širšem področju križišča, kjer so območja manevriranja in sortiranja.

V križiščih v splošnem ločimo dve vrsti cestnih pasov: cestne pasove za direktne prometne tokove in sortirne pasove za tokove, ki zavijajo levo ali desno. Za vozne pasove velja, da vodijo skozi celotno področje križišča v nespremenjeni širini in nespremenjenem številu. Sortirni pasovi morajo biti ločeni od pretočnega dela cestišča z obliko linij in širin pri pogojih, ki odgovarjajo prometni hitrosti.

Za zagotavljanje prostora pasovom levih zavijalcev, je potrebno ločiti glavne pasove za direktne prometne tokove. Najbolj elegantno se to izvede pri križiščih, katerih glavna os je v krivini. Kadar pa je glavna os v premi, se pasova ločita simetrično. To velja za štirikraka križišča. Pri trikrakem križišču se izvede enostranska razširitev in sicer na stran priključka.

Pri zavijanju v desno ali levo, je linija robnikov oblikovana z uporabo spojenih tricentričnih krivulj, ki linijo vozila pri zavijanju opišejo le približno. Velikosti teh krivin morajo biti v razmerju $R_1 : R_2 : R_3 = 2 : 1 : 3$ v smeri vožnje. Središčni polmer R_2 predstavlja minimalen

polmer obračanja R_S merodajnega vozila. R_S je posledica konstrukcijskih karakteristik vozil, ki se razlikuje glede na vrsto vozila. Podatek za R_S lahko odčitamo v tabeli.

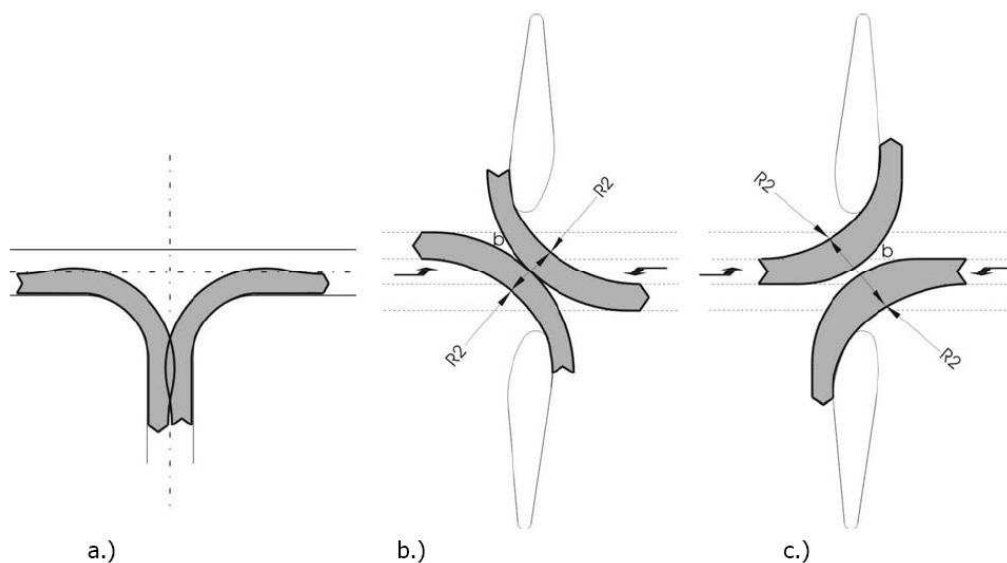
Tabela: Minimalne vrednosti zavijalnih polmerov za različne vrste vozil

(Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 29)

| Vrsta vozila | Polmer zavijalne krivine R_2 [m] | | |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| | Levo zavijanje | Desno zavijanje | |
| | | Razdelilni otok | Brez razdelilnega otoka |
| Osebnih avtomobilov | 6 | 10 | 6 |
| Kamioni in avtobusi | 10 | 12 | 10 |
| Vlačilci in kamioni s prikolico | 12 | 15 | 12 |
| Zglobni avtobusi | 15 | 25 | 15 |

Pri projektiranju notranje robne krivine za leve zavijalce, se krivina izvede navidezno. Tako se preveri potek zunanje linije, ki jo opiše vozilo. V določeni točki lahko pride do dotika ali celo preklapljanja zunanjih linij nasprotnih levih zavijalcev. V splošnem ni pomembno, ali so v križišču izvedeni pasovi za leve zavijalce ali ne. V vsakem primeru je potrebno zagotoviti, da so notranje linije medsebojno dovolj odmaknjene. V primeru zavijanja levo iz sekundarne smeri je minimalna razdalja med nasprotnima krivinama enaka $b_{min} = 6$ m, pri zavijanju iz glavne smeri pa je minimalna razdalja, pri polmeru $R_2 \geq 15$ m, enaka $b_{min} = 8$ m. Kadar je polmer levih zavijalcev iz primarne smeri $R_2 < 15$ m, moramo zagotoviti minimalno oddaljenost notranjih krivulj zavijalcev $b_{min} = 10$ m. Kasneje se s šablonami zavijalnih krivulj merodajnih vozil preveri, če so zunanje zavijalne meje med seboj oddaljene vsaj en meter. V skrajnem primeru se zunanje linije na sekundarnem toku lahko dotikajo. Linijo uravnavamo s širino pasu za leve zavijalce in obliko razdelilnega otoka, ki se zaključuje v obliki kaplje.

(Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 37)



Slika: Pokrite površine merodajnih vozil v zavojih desno ali levo

(Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 38)

Velik del pri oblikovanju križišča ima tudi ločilni otok. Poleg funkcije vodenja linij vožnje, služi tudi zaščiti pešcev; ustvari površine primerne za postavitev prometne in svetlobne signalizacije. Ta ločitveni otok se razdeli na usmeritvene otoke, ki predstavljajo glavne elemente kanaliziranja prometnih tokov in na razdelilne prometne otoke, katerih namen je razdeljevanje nasprotnih prometnih tokov in zagotavljanje površine za nemotorizirane udeležence za lažje prečkanje križišča.

2.8 Prečni profil

Direktni pasovi

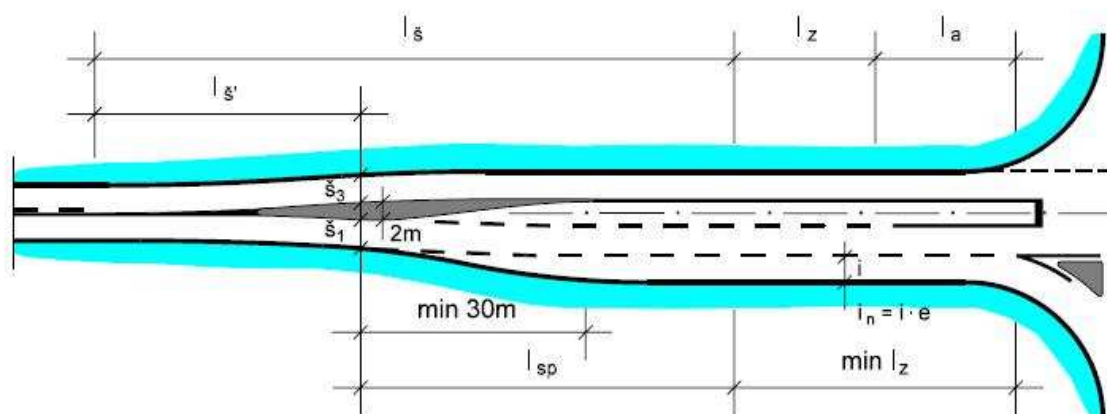
Kot že prej omenjeno, obstaja več vozniških pasov, ki vodijo voznike skozi križišče. Za vsak vozni pas je potrebno določiti primerno širino, ki je pogojena z minimalno vrednostjo. Za direktne pasove, ki vodijo glavni tok skozi križišče, je širina odvisna od predvidene hitrosti. Te širine veljajo zgolj za premo in krivine s polmerom večjim od 200 m. Pri manjših polmerih je potrebno izvesti razširitev.

Tabela: Širina pasov za neprekinjeno vožnjo (Vir: Maletin, 2005, str. 165)

| V_r [km/h] | $V_r > 100$ | $80 < V_r \leq 100$ | $60 < V_r \leq 80$ | $40 < V_r \leq 60$ | $V_r \leq 40$ |
|--------------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| t_g [m] | 3,75 | 3,5 | 3,25 | 3,00 | 2,75 |

Pas za leve zavijalce

Posebne oblike je pas za zavijalce, ki je namenjen izvozu iz glavnega toka, razvrščanju, zmanjševanju hitrosti in čakanju na prednost. Širina tega pasu je običajno $t_r = 3,00$ m ali pa je glede na širino glavnega direktnega pasu ožji za 25 cm. V nekaterih primerih je možna izvedba ožjega pasu, vendar minimalne širine $t_{r\ min} = 2,50$ m.



Slika: Elementi pasu za leve zavijalce (Vir: Smjernice za proj..., 2005, str. 32)

Pas za leve zavijalce se začne pred križiščem in konča za njim. V območju križanja zagotavlja ločeno vožnjo od glavnega toka in varno ustavljanje ter čakanje na primeren časovni razmak, ki je potreben za levo zavijanje. Dolžina razširitve (L_s): kadar je os primarne smeri v premii, v kateri se širina pasu doseže, se izračuna glede na hitrost (V) in odmaknjenost robov pasu (i) glede na glavno os (enačba 1).

$$L_s = V \sqrt{\frac{i}{3}}$$

Enačba (1)

Pas sestoji še iz odseka za menjavo prometnega pasu L_{sp} , pasu za čakanje L_a , katerega najmanjša vrednost znaša 20 m ter pred njim odsek za zaviranje L_z , ki je pogojen s hitrostjo, vzdolžnim nagibom prometne smeri, dovoljenega trenja med gumo in cestiščem ter količino prometa. Za poenostavljeno izbiro dolžine uporabimo podatke v tabeli:

Tabela: Dolžina zaviralnega pasu (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 33)

| Količina prometa, od katerega se odcepljajo levi zavijalci (vozila/h) | Vzdolžni nagib s [%] in hitrost v križišču V_k [km/h] | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|------------------|----|----|----|--------------|----|----|----|
| | $s \leq -4\%$ | | | | $-4\% < s < 4\%$ | | | | $s \geq 4\%$ | | | |
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 40 | 50 | 60 | 70 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| < 400 | 0 | 0 | 10 | 20 | 0 | 0 | 10 | 15 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| > 400 | 0 | 0 | 25 | 40 | 0 | 0 | 20 | 30 | 0 | 0 | 15 | 20 |

V različnih primerih se pokaže, da pri takem konstruiranju razširitve pasov za leve zavijalce linije vožnje skozi križišče niso optimalne. Torej je to lahko zgolj smernica, ki nam služi pri oblikovanju križišča.

Poznamo še robne pasove, ki služijo za izvedbo raznih odtočnih detajlov, poleg tega pa zmanjšujejo občutek utesnenosti. Običajne širine teh pasov se gibljejo med 0,5 m in 1,0 m. (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str. 31)

2.9 Zaporedje geometrijske obdelave križišča

Križišče se običajno projektira v več variantah. Te variante služijo za analizo, medsebojno primerjanje ter izbiro najustrežnejše. Variante se lahko razlikujejo tako po geometriji, kot tudi po načinu vodenja v smislu semaforizacije. Izdelavo posamezne variante lahko opišemo v petih osnovnih korakih. Najprej je potrebno razmakniti direktne prometne tokove, da bi zagotovili prostor za pasove levih zavijalcev na primarni in tudi na sekundarni smeri. Naslednji korak je geometrijsko oblikovanje pasov za leve zavijalce in določitev dolžine pasu za čakajoča vozila L_a , nato dolžine zaviranja L_z pa dolžine razširitve L_x . Tu nastane kritični problem, ker pri tako določenih geometrijskih dolžinah razširitve in pasu za leve zavijalce

nismo upoštevali koraka za preverbo linije vožnje. Več o tem kasneje na teoretičnem primeru. Tretji korak obsega kontrolo širine pasov in pozicijo prehodov za pešce in določanje lokacije za signalizacijo in osvetlitev. Četrti korak zajema določevanje trikotnih otokov in definiranje širine pasu za desne zavijalce. Pri tem se geometrijsko oblikuje pas za desne zavijalce in preveri prehodnost. Preveriti je potrebno skupno površino, prostor za pešce na razdelilnih otokih in položaj prometne signalizacije. Na koncu pa je potrebno geometrijsko oblikovati krivino in širino pasu za desne zavijalce ter otoke.

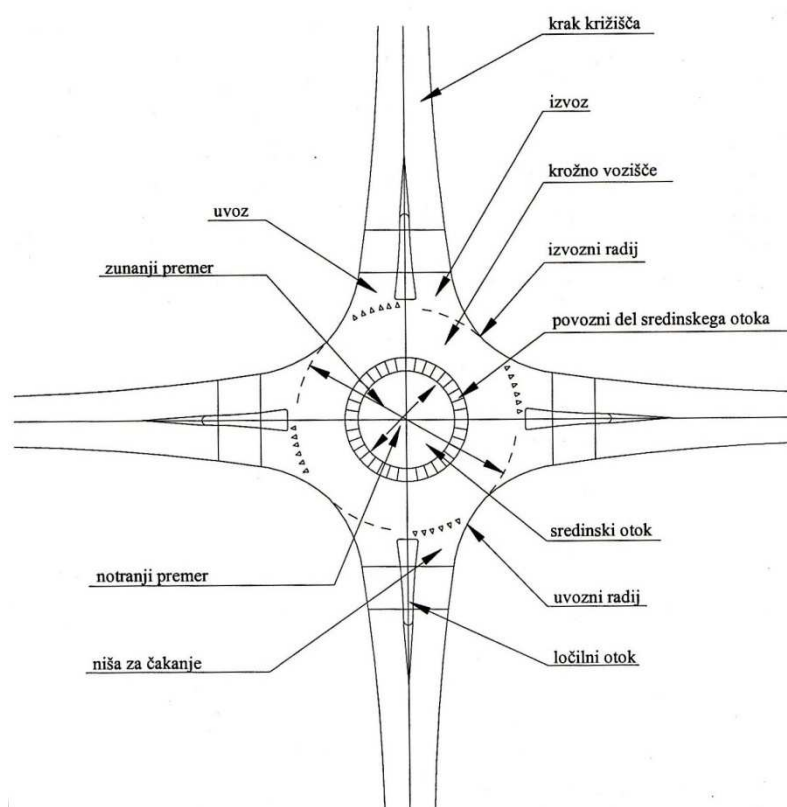
3 KROŽNO KRIŽIŠČE

Krožno križišče je v svoji osnovi križišče prednostne s stransko cesto, pri čemer je krožni tok primarna cesta, njegovi priključki pa sekundarne ceste. Vozila, ki se že nahajajo v krožnem toku, imajo zato vedno prednost pred vozili, ki se vanj šele vključujejo. Promet v krožnem križišču poteka v nasprotni smeri urinega kazalca.

Večje krožno križišče omogoča višje hitrosti vožnje, kar lahko voznike zavede, da vozijo prehitro. Hkrati je pri višjih hitrostih težje spremljati promet v vseh štirih smereh, hitreje pride tudi do zdrsav vozila. Slednje je še zlasti nevarno na mokrem ali zasneženem cestišču.

3.1 Osnovni elementi

Krožno križišče je kanalizirano križišče krožne oblike z nepovoznim, delno povoznim ali prevoznim sredinskim otokom ter krožnim voziščem v katerega se stika več cest. Priključne ceste so pri uvozi in izvozi ločene z otokom za pešce, ki ima lahko obliko talne signalizacije ali je deniveliran od vozišča. Pred vstopom v krožno vozišče je izvedena niša za čakanje, ki je primerno razširjena. Sredinski otok je denivelirana površina krožne ali ovalne oblike, postavljena v sredini krožnega križišča, ki preprečuje vožnjo naravnost in omejuje krožno križišče na notranji strani. (Vir: *Tollazzi, 2005, str. 97*)



Slika: Osnovni elementi krožnega križišča (Vir: TSC 03.341 : 2002, str. 6)

Kolesarji

Varnost kolesarjev je pogojena z načinom vodenja v območju krožnega križišča. Obstajajo trije načini vodenja. Mešano vodenje, kjer se motorni in kolesarski promet odvijata po skupnem vozišču. Vzporedno vodenje ob zunanjem robu vozišča, kjer je kolesarska pot ločena samo s talno signalizacijo. Tretja varianta pa pomeni ločeno vodenje kolesarjev. Tu je kolesarska pot od vozišča ločena z robniki in je najvarnejša. Ta način zahteva nekaj več prostora.

3.2 Oblika elementov

Vodenje krakov v krožno križišče naj bo čim bolj pravokotno. Tako se pri uvažanju in izvažanju hitrost zmanjša in pregledno polje poveča. Velika uvozna krivina pomeni veliko

hitrost, majhna uvozna krivina pa omogoča nalete na sredinski otok ali nezaželene prehode na notranji vozni pas v krožnem toku. Zelo pomembna je pravilna širina uvoza in dolžina razširitve, saj se uvažanje v krožno križišče izvaja na relativno majhnem prostoru.

Ukrivljenost krivulje vožnje skozi krožno križišče ima velik pomen za prometno varnost. Krivulja mora imeti obliko dvojne S krivine, ki jo tvorijo trije krožni loki usklajenih velikosti. Manjši so polmeri, manjša je hitrost in posledično večja varnost. Na ukrivljenost lahko vplivamo na dva načina. Lahko spremenimo velikost sredinskega otoka, kar pa večkrat ni izvedljivo, ali drugače oblikujemo otok za pešce, kar je lažje izvedljivo, vendar predstavlja slabšo varianto. Oblika otoka za pešce se prilagaja tudi velikosti krožnega križišča in predvideni hitrosti. Pri manjših naj bo otok v obliki stožca pri večjih krožnih križiščih pa lijakaste oblike. Priporočljivo je odmakniti položaj prehodov za pešce od roba krožnega križišča vsaj za eno do dve dolžini osebnih vozil. Povožni del sredinskega otoka predstavlja vizualno zožitev za vozila z majhnimi gabariti in le izjemoma uporabni del krožnega križišča. Če povoznega dela otoka ni, lahko zaradi širokega vozišča pride do prehitevanja pri kroženju in do drugih nevarnih situacij. Ureditev sredinskega otoka ima nekaj praktičnih vrednosti. Z izvedbo kupolaste oblike delno zakrijemo pogled na dogajanje v celotnem krožnem križišču, vendar je potrebna preglednost še vedno zagotovljena. Dvignjeni otoki so potrebni pri krožnih križiščih izven urbanega okolja, kjer so hitrosti večje. Z njimi opozarjamo vozila, da se približujejo krožnemu križišču.

Dimenzije elementov na vseh in izhodih so odvisne od merodajnega vozila. Če je merodajno vozilo tovornjak s prikolico, se za različne velikosti krožnega križišča zahteva uporaba vrednosti, opisanih v tabeli.

Tabela: Zahtevane vrednosti elementov (Vir: TSC 03.341 : 2002, str. 24)

| Zunanji premer [m] | | 27 – 35 | 35 – 45 |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|
| Širina krožnega voznega pasu [m] | | 6,5 – 8,0 | 5,75 – 6,5 |
| Zahtevani pogoji | Širina voznega pasu na uvozu [m] | 3,25 – 3,5 | 3,5 – 4,0 |
| | Širina voznega pasu na izvozu [m] | 3,5 – 3,75 | 3,5 – 4,25 |
| | Velikost uvoznega polmera [m] | 10 – 12 | 12 – 14 |
| | Velikost izvoznega polmera [m] | 12 – 14 | 14 – 16 |

3.3 Delitev krožnih križišč

Naslednja delitev je povzetek po knjigi o krožnih križiščih. (Vir: Tollazzi, 2005, str. 114)

Delitev po velikosti

Velikost krožnega križišča je velikost zunanjega polmera oziroma zunanjega premera. V slovenskem prostoru je delitev urejena v naslednje razrede:

- $14 < D < 20$ m – mini krožno križišče s prevoznim osrednjim delom,
- $18 < D < 24$ m – mini krožno križišče z nepovoznim osrednjim otokom,
- $22 < D < 35$ m – majhno krožno križišče,
- $32 < D < 80$ m – srednje krožno križišče,
- $80 < D < 120$ m – veliko krožno križišče,
- $D > 120$ m – zelo veliko krožno križišče.

Delitev glede na lokacijo

- krožna križišča v urbanem območju,
- krožna križišča v prehodnem območju,
- krožna križišča izven urbanega območja.

Delitev glede na namembnost

- krožna križišča za umirjanje prometa v urbanih in prehodnih območjih,
- krožna križišča za omejevanje prometa. Ta se gradijo v urbanih območjih, kjer s primernimi elementi utesnimo izvajanje prometa.
- krožna križišča, ki zagotavljajo čim večjo kapaciteto ob zadovoljivi prometni varnosti. Primarno se nahajajo izven urbanih področij in so običajno namenjena le motoriziranim udeležencem.

Delitev glede poveznosti sredinskega otoka

- krožna križišča s poveznim sredinskim otokom
- krožna križišča delno poveznim sredinskim otokom
- krožna križišča brez poveznega dela sredinskega otoka

Delitev glede na število krakov.

- trikraka,
- štirikraka,
- petkraka, itd.

Delitev glede na število pasov

- enopasovna,
- dvopasovna,
- tripasovna.

Delitev glede na vodenje posameznih smeri

- Število nivojev: - enonivojska,
- dvonivojska,
- večnivojska.

- Način vodenja: - vodenje v krožno križišče,
 - vodenje mimo, kjer se močno poudarjen tok desnih zavijalcev spelje izven krožnega križišča.

3.4 Oblika uvoza

Oblika uvoza vpliva na prepustnost. Količini, ki ju določimo, sta širina uvoza (e) in dolžina razširitve (l'). Faktor, ki ga določimo preko teh dveh količin, nam da prepustnost. Manjši je faktor, manjša je prepustnost in obratno.

$$S = 1.6 \cdot \frac{e - v}{l'} \quad v - \text{hitrost v m/s} \quad \text{Enačba (2)}$$

Vpadni kot je najbolj optimalen med 24° in 30° . Tu je pomembna velikost uvoznega krožnega loka. Enako velja za izvozni krožni lok, ki pa je praviloma večji od uvoznega, saj s tem omogoča večjo hitrost pri izstopu iz krožnega toka.

3.5 Hitrost v krožnem križišču

Hitrost v krožnem križišču se podreja največjemu bočnemu sunku sile in prečnemu nagibu. Pri pravilno zgrajenem krožnem križišču vozilo opiše pot dvojne S krivine, katere krožni loki naj bi bili med seboj usklajeni. Ukrivljenost poti na uvozu (ρ) je v razmerju z uvoznim polmerom (R_U) v naslednji obliki (Vir: *Tollazzi, 2005, str. 140*):

$$\rho = \frac{1}{R_U} \quad \text{Enačba (3)}$$

Ukrivljenost poti lahko reguliramo na naslednje načine:

- s spreminjanjem velikosti sredinskega otoka (dober učinek, vendar problem pri zagotovitvi prostora),
- z obliko ločilnih otokov (manjši učinek),

- z obliko uvoznega pasu (najmanjši učinek).

Pri prehodu majhnega krožnega križišča za polovico kroga, naj hitrost ne preseže od 30 km/h do 35 km/h. Za kontrolo hitrosti sta potrebna dva geometrijska elementa. Dolžina med začetkom zaokrožitve na vhodu in koncem zaokrožitve na izhodu (L) ter defleksija (U), ki predstavlja oddaljenost med robom sredinskega otoka in desnim robom vozišča na izhodu. Od tu izračunamo polmer krivine vozne linije R :

$$R = \frac{(0,25 * L)^2 + (0,5 * (U + 2))^2}{U + 2} \quad [\text{m}] \quad \text{Enačba (4)}$$

Priporočena vrednost R je $22 < R < 23$ m. Povezava med hitrostjo in polmerom pri majhnih krožnih križiščih:

$$V = 7,4 * \sqrt{R} \quad [\text{km/h}] \quad \text{Enačba (5)}$$

4 OPIS PRIPRAVE PODATKOV ZA OBRAVNAVANA KRIŽIŠČA

Izbira križišč je narejena glede na lokacijo mojega domovanja in poznavanje cest v regiji. Vsa križišča, ki jih opisujem, razen enega, so locirana v gorenjski regiji. Primerna križišča so izbrana glede na kriterije čim večje pretočnosti, saj so samo na teh vidni potemnjeni deli voznih linij na vozišču. Slikovni podatki so pridobljeni s pregledovalnikom podatkov Geodetske uprave RS. Preko te storitve so dostopni barvni ortofoto posnetki. S pregledovalnikom je izbranih več križišč oblik T in X ter tudi krožnih križišč, na katerih so relativno dobro vidni potemnjeni deli vozišča.

Za nekatera križišča so uporabljeni načrti situacij v merilu. Večino križišč oblike X in T je že zelo starih, tako da v arhivu DRSC ni mogoče dobiti načrtov situacij v merilu, saj so starejši projekti vsi preneseni na mikrofilm. Za novejša križišča, še posebno krožna križišča, ki so v večini mlajša od deset let, so načrti pridobljeni neposredno od projektantov.

4.1 Ortofoto

Po definiciji na internetni strani GURS (Geodetska Uprava Republike Slovenije), je ortofoto skeniran aeroposnetek, ki je z upoštevanjem centralne projekcije posnetka in modela reliefa, transformiran (popačen) v državni koordinatni sistem. Izdelek je v metričnem smislu enak linijskemu načrtu ali karti. Rektifikacija ortofotov je izvedena na osnovi modela reliefa z gostoto 5 m. Ločljivost barvne fotografije je v najboljšem primeru 0,25m.

(vir: <http://www.gu.gov.si>).

Za pridobitev dejanskih linij vozil skozi križišče je, poleg opazovanja na terenu, uporabljena spletna storitev – pregledovalnik podatkov, preko katere so dostopni barvni ortofoto posnetki. Ti posnetki so vneseni v CAD program, kjer so uporabljeni kot predloga za nadaljnjo analizo.

4.2 Plateia 6.03

Računalniški program *Plateia 6.03* je vtičnik za *AutoCAD 2004* in se uporablja za načrtovanje novih in rekonstrukcijo obstoječih cest vseh kategorij, od avtocest do mestnih cest in poti. Z njim je možno hitro preveriti idejne zasnove cest ali natančno obdelati izvedbene projekte. Zamudne operacije opravi mnogo hitreje, kot bi to lahko naredili ročno, pomembne projektantske odločitve pa prepušča uporabniku.

Bistveni del programa za uporabo pri izdelavi risb za to nalogo je možnost izrisa osi ceste z uporabo geometrijskih elementov, kot so: prema, krožni lok in prehodnica. Program je izdelan na način, da se za izris prehodnic ni potrebno preveč truditi. Vmesnik je zelo grafično naravnan in omogoča skoraj popolnoma avtomatsko izračunavanje dimenzij elementov prehodnice. Vse, kar je potrebno storiti, je določiti primerno obliko prehodnice glede na kombinacijo elementov, ki jih povezuje in po možnosti določiti še dolžino prehodnice oziroma parameter *A*. To omogoča, da se preko podloženega ortofota v relativno kratkem času lahko z več poskusi določi pripadajočo os vožnje.

4.2.1 Majhni polmeri

Majhni polmeri v zavoju pri vožnji skozi križišče

Z razliko od običajnih cestnih elementov, ki so projektirane za hitrosti od 40 km/h do 130 km/h, linije vožnje znotraj križišč odgovarjajo hitrostim od 10 km/h do 30 km/h. Te hitrosti so posledica majhnih polmerov, ki jih vozila opišejo pri zavijanju desno ali levo. Najmanjši možni polmer, ki ga vozilo opiše, je minimalni polmer merodajnega vozila. Ko se načrtuje križišče in oblikuje elemente, ki vodijo vozila, je potrebno ugotoviti če so linije prevozne, oziroma ugotoviti prehodnost in ekonomičnost zagotavljanja te prehodnosti. Površine morajo biti oblikovane na način, da so optimalne, hkrati pa zagotavljajo prehodnost vseh vozil.

Šablone zavijalnih krivulj

Kadar vozilo pelje po krivini majhnega polmera, posamezne njegove točke opišejo zelo različne poti. Glede na tip motornega vozila, razdaljo med prednjo in zadnjo osjo, širino vozila in splošne konstrukcijske karakteristike, je v primeru desnega zavoja pot zadnje desne točke v obliki ekstremno majhnega polmera, pot prednje leve točke pa relativno velikega polmera. Za majhne polmere so zato izdelane šablone zavijalnih krivulj za več vrst merodajnih vozil. S temi šablonami je možno preveriti prehodnost križišča.

5 VODENJE LINIJ SKOZI KRIŽIŠČE

Vožnja skozi križišče po glavni smeri naj se ne bi razlikovala od vožnje po odprti cesti. Na odprti cesti so elementi vzdolžne osi oblikovani tako, da izpolnjujejo zahteve vozne dinamike. Prehod iz preme v krožni lok je izveden s pomočjo prehodnice, kar omogoča predvidljivo in varno vožnjo. Vozniki dobijo dovolj podatkov v pravem času, kar pomeni da jih cesta vodi.

Kadar pa cesta vodi skozi križišče, razširjeno z dodatnimi pasovi, se lastnosti elementov vzdolžne osi voznega pasu lahko močno razlikujejo od elementov na odprti cesti. V primeru slabo načrtovane linije, kjer elementi med sabo niso optimalno prilagojeni, lahko pride do slabega vodenja in s tem možnosti prometnih nesreč. S pomočjo reducirane računske hitrosti, ki se uporablja za izračun vzdolžnih elementov v križiščih, dobimo mere in velikosti. Kljub temu, da so s tem elementi v splošnem primerno oblikovani in zadovoljujejo pogoje, ki jih določen funkcionalni nivo zahteva, je v nekaterih primerih nivo usluge ceste zmanjšan, čeprav so pogoji ustrezni.

5.1 Teoretični primer

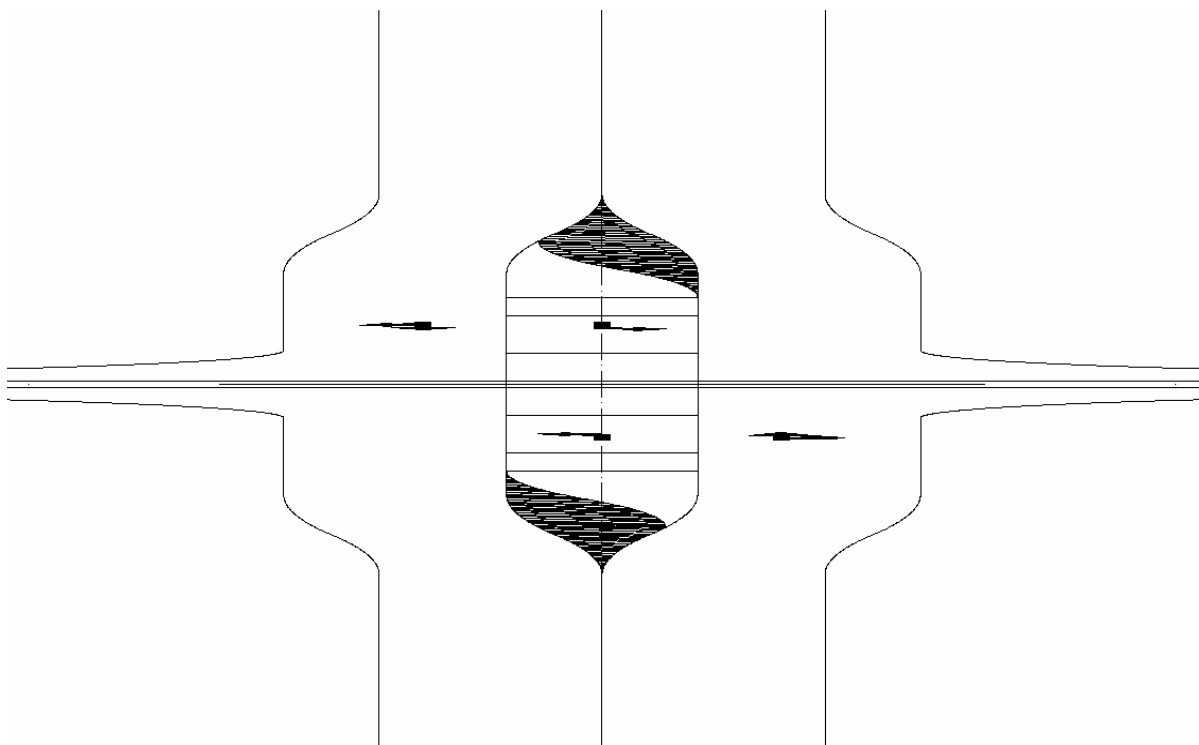
S teoretičnim primerom je pokazano, kje prihaja do neoptimalnega vodenja voznega pasu. Problem je predstavljen v različnih variantah; sledi možna rešitev.

5.1.1 Križišče z osjo primarnega toka v premi

Oblikovan je primer križišča, ki ima osi na primarni in sekundarni smeri v obliki preme (slika 1). Za lažje računanje in določevanje elementov je izbrana hitrost v križišču $V_r = 60$ km/h. Širino voznega pasu je določena na $\check{s}_v = 3,5$ m, ki je nekako običajna širina na cestah izven naselja. Širina razširitve, ki je potrebna za pas levih zavijalcev, znaša $\check{s}_z = 3,0$ m. Odmik od osi je simetričen in znaša $i = 1,5$ m. Potrebna dolžina za razširitev je dobljena z enačbo (1) in

Izometrija

Računalniški program omogoča poljubno obračanje slike. Slika je obrnjena v položaj, ki omogoča podoben pogled na potek ceste, kot ga vidi voznik, ko se pelje po voznem pasu (slika 2).



Slika 2: Izometrija razširitve na primarni smeri v premi

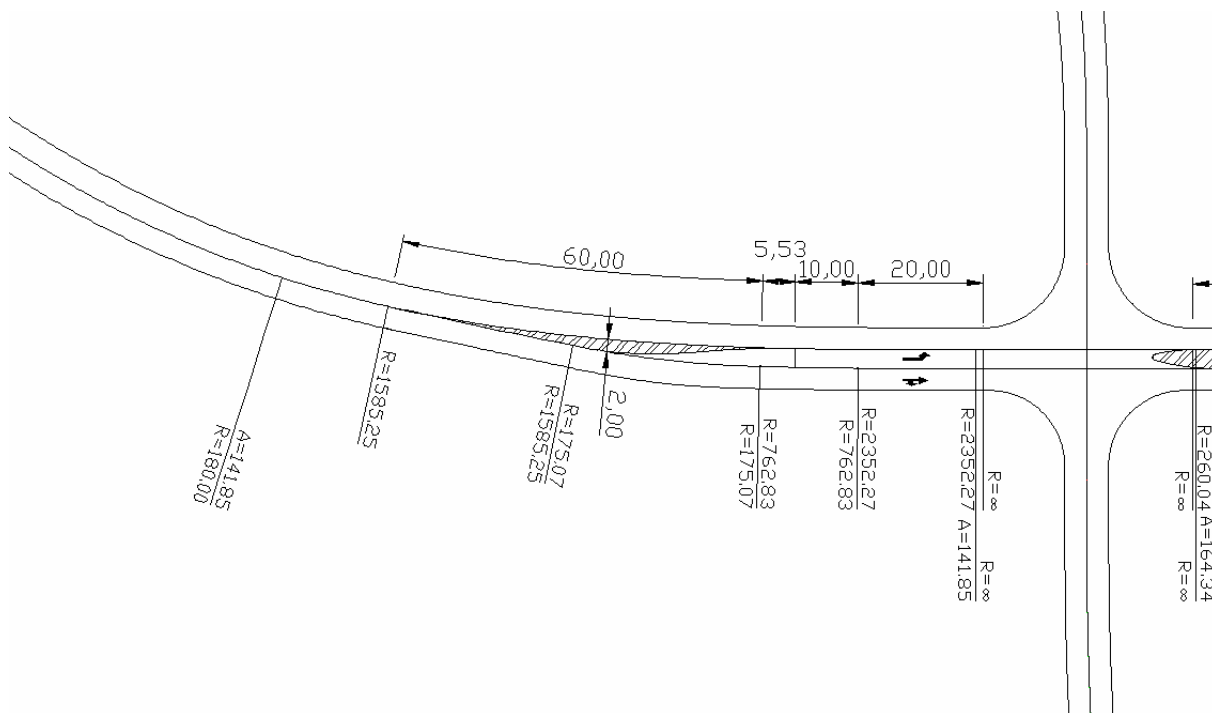
V primeru preme, razširitev v širšem območju križišča močno spremeni potek glavnega toka. Z razširitvijo je narejen poseg v potek elementov na odprti cesti, kjer takih ovir običajno ni. Tako pride do hitre menjave smeri vožnje na relativno kratki razdalji. Tak pojav se lahko imenuje vijuganje voznega pasu. To vpliva na kontinuiteto in varnost vožnje. Tudi če je hitrost primerno omejena s prometnimi predpisi, oblika razširitve od voznika še vedno zahteva manever, ki mu mora nameniti precej več pozornosti, kot to zahteva odprta cesta.

5.1.2 Križišče z osjo primarnega toka v krivini

Pri tem primeru je os primarnega toka v funkcionalnem področju križišča v obliki krivulje. V samem področju križanja je os v premi. Običajno se v takih primerih razširitev izvede enostransko glede na os. Pri računanju dolžine razširitve L_s , je razširitev i enaka širini pasu za leve zavijalce \check{s}_z . Vhodni podatki so enaki, kot pri križišču z ravno osjo. Hitrost v križišču je $V_r = 60$ km/h, širina voznega pasu $\check{s}_v = 3,5$ m in širina razširitvenega pasu za leve zavijalce je $\check{s}_z = 3,0$ m. Dolžina razširitve nato po enačbi (1) znaša $L_s = 60,00$ metra.

Križišče je oblikovano tako, da je na vhodu izveden pas za leve zavijalce, na izhodu pa samo razširitveno območje. Namen tega bom pojasnil kasneje. V obeh primerih je dolžina razširitve enaka, vendar je največja razlika ta, da se na glavno os različno vključujeta. Razliko bom v nadaljevanju nazorno prikazal za vsak primer posebej v izometričnem pogledu. Na celotni dolžini funkcionalnega področja je razširitev izvedena na zunanji strani osi. S tem je zmanjšana možnost, da bi bila prekoračena meja najmanjšega polmera. Razširitvena krivulja je še vedno sestavljena iz dveh krožnih lokov. Krožna loka imata različne velikosti polmerov in nasprotna predznaka.

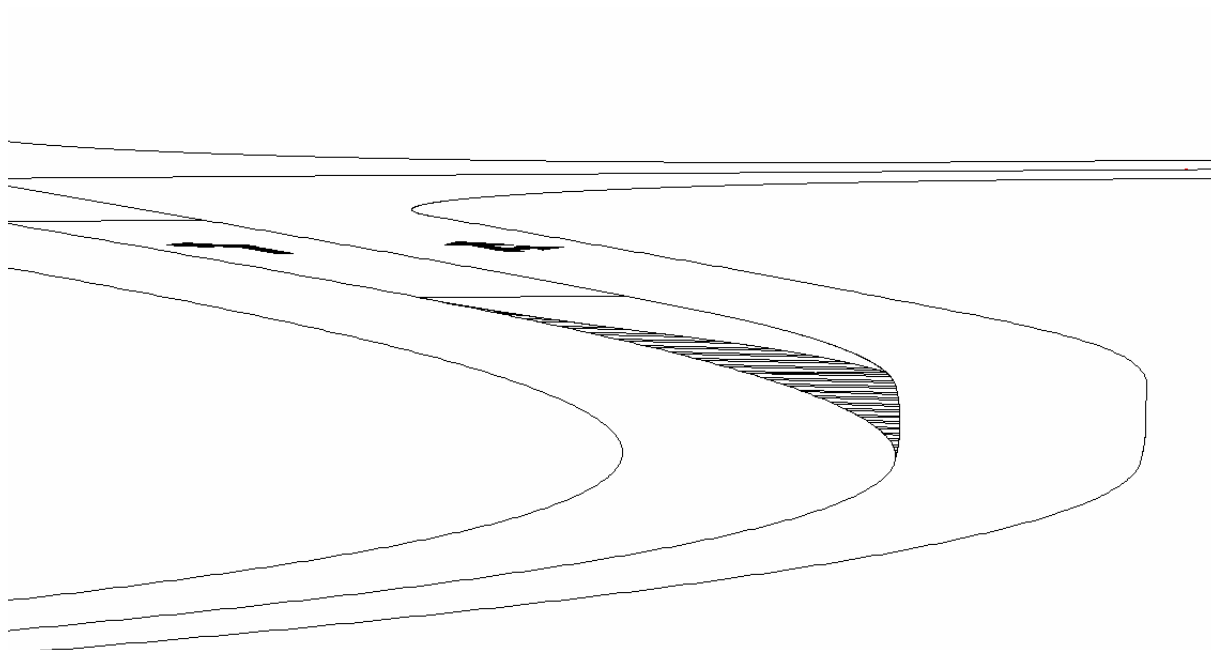
Na vhodnem delu je glavna os prehodnica s parametrom $A = 141,85$. Prvi polmer razširitve je velikosti $R_1 = 1585,25$ m, drugi $R_2 = 175,07$ m. Polmer R_2 je približno enak predhodnemu polmeru $R = 180$ m na glavni osi. V področju razširitve še vedno prihaja do raznih sprememb smeri vožnje na relativno kratki razdalji, saj je polmer R_1 nasprotno predznačen (Slika 3).



Slika 3: Situacija razširitve na primarni smeri v krivini

Izometrija uvoza

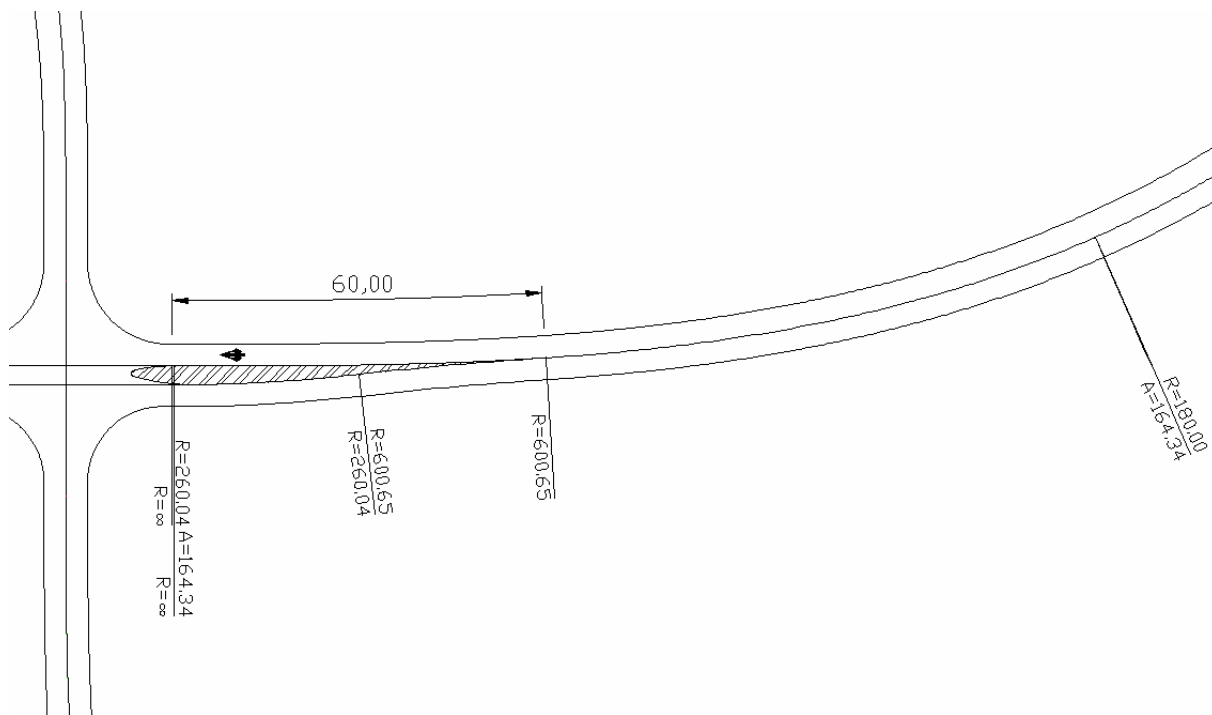
V izometričnem pogledu se dobro vidi primerjava levega in desnega pasu (slika 4). Levi pas je voden z glavno osjo in ima na delu razširitve obliko prehodnice s parametrom A ter polmerom R. Linija deluje zvezno in gladko. Desni pas je voden z razširitvenima krožnima lokoma in njegova linija na kratki razdalji deluje nezvezno. Pri vožnji je potrebno večkrat popraviti smer.



Slika 4: Izometrija uvoza na primarni smeri v krivini

Izvoz

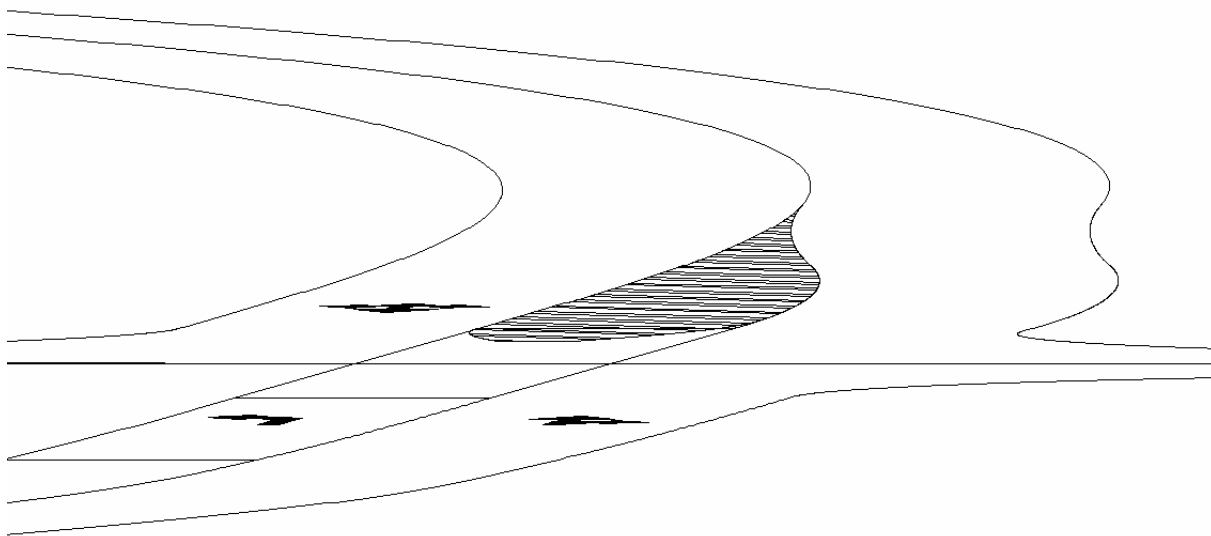
Na izvozu iz križišča, kjer je za primer izvedena samo razširitev, brez pasu za zavijalce, se pojav nezveznosti pokaže še bolj intenzivno (slika 5). Dolžina razširitve L_x tudi tu znaša izračunanih 60 metrov in sama razširitev je izvedena ozirajoč se na glavno os, ki ima obliko prehodnice s parametrom A. Razširitev je tu izvedena z dvema krožnima lokoma, ki imata velikost polmera $R_3 = 260,04$ m in $R_4 = 600,65$ m.



Slika 5: Situacija izvoza pri glavni osi v krivini

Izometrija izvoza

V izometriji je izrazito viden vpliv nasprotnega predznaka polmera R_4 (slika 6).



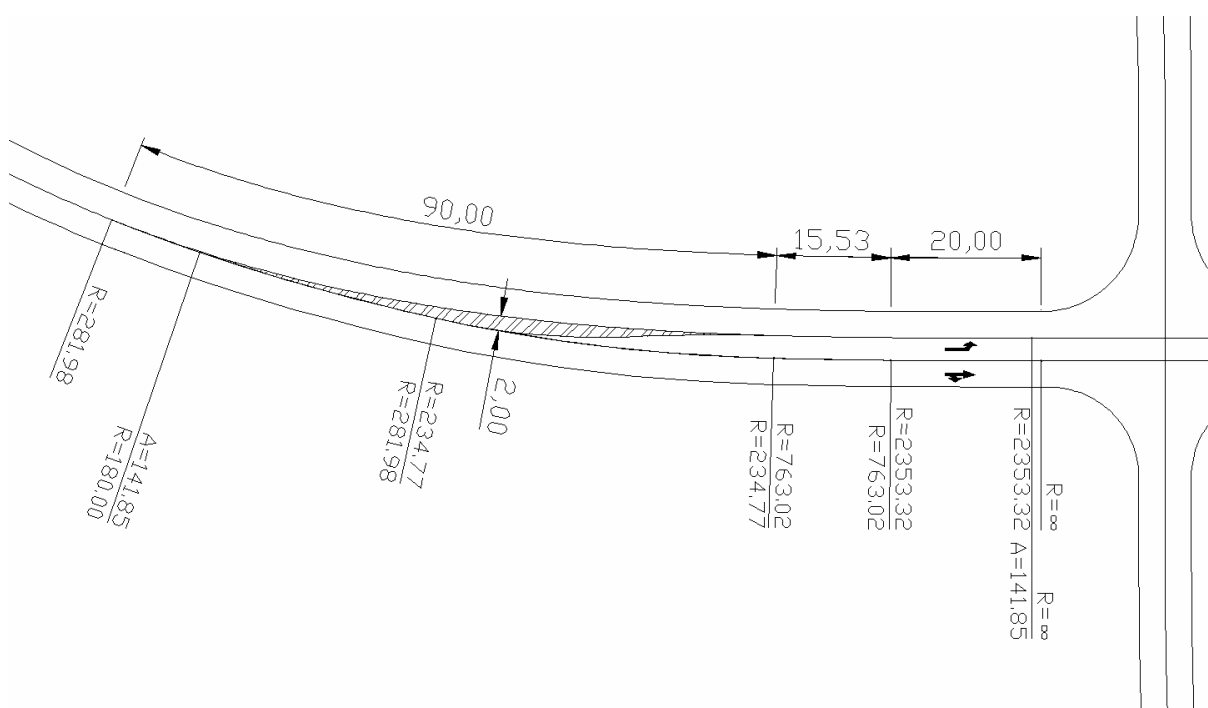
Slika 6: Izometrija izvoza pri glavni osi v krivini

5.1.3 Podaljšana razširitvena dolžina

V križiščih je potrebno doseči podobno kontinuiteto vožnje kot na odprtih cestah. Zato so na naslednjem primeru uvedeni določeni ukrepi.

Za rešitev problema vijuganja voznega pasu v območju razširitve, so predpostavljeni naslednji pogoji: dolžina razširitve L_s naj bo le minimalna priporočena vrednost; vsi sodelujoči krožni loki naj imajo enak predznak; največje razmerje med sosednjima polmeroma naj bo v območju $R_1 : R_2 = 1 : 1,5$. Dolžino podaljšanja je potrebno določiti s poizkušanjem, saj se rezultat razlikuje od primera do primera.

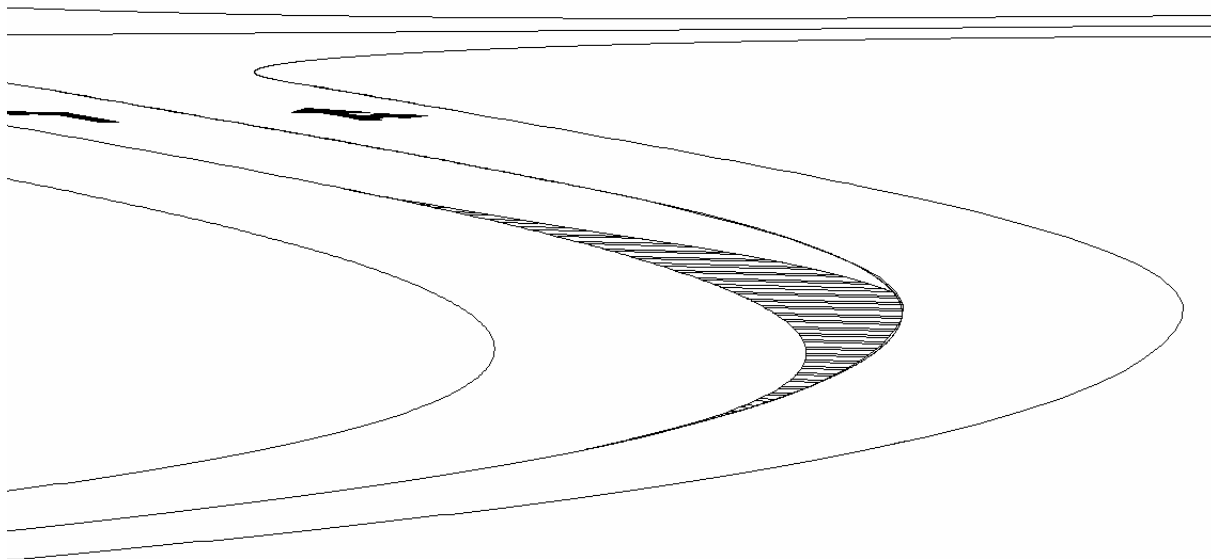
Dolžina razširitve na vходу je povečana za velikost faktorja 1,5, minimalne priporočene dolžine razširitve L_s . Tako nova dolžina znaša $L_{s-nova} = 90,00$ m. Rezultat je viden na sliki (slika 7).



Slika 7: Situacija podaljšane razširitve

Vsi krožni loki so sedaj z enakim predznakom, kar posledično izniči učinek vijuganja in omogoča vožnjo samo v eno smer. Velikosti polmerov $R_1 = 281,98$ m in $R_2 = 234,77$ m sta v predpostavljenem razmerju v primerjavi z osnovnim polmerom glavne osi $R = 180,00$ m. Tako ne prihaja do velikih sprememb v smeri vožnje. Takšno podaljšanje razširitvene dolžine je zadostno.

Analiza izometričnega pogleda na razširitev potrjuje, da je dolžina razširitve zadovoljiva (slika 8). Točka gledanja je identična kot pri predhodnem primeru (slika 4). Levi pas se ni nič spremenil in ima še vedno enake lastnosti. Na desnem pasu je linija veliko bolj tekoča in precej bolj podobna običajnemu zavoju, ki je sestavljen iz krožnega loka in prehodnic.



Slika 8: Izometrični pogled na podaljšano razširitev

6 PREHODNOST KRIŽIŠČA ZA ZAVIJALCE

Kot je omenjeno v poglavju o majhnih polmerih, so hitrosti v križišču relativno majhne. Temu primerno so tudi oblikovane linije namenjene zavijalcem. Pri načrtovanju robnih linij se ne opiramo na hitrost, ki jo imajo vozila, ampak so merodajne njihove mere in tehnične zmožnosti voznje. V odvisnosti od dimenzij vozila in njegovega najmanjšega kroga obračanja so narejene zavijalne šablone merodajnih vozil. S pomočjo teh šablon je možno preveriti prehodnost križišča za vsa vozila.

Na primeru križišča, kjer bo prikazana prehodnost, je namesto šablon uporabljen program *Plateia 6.03*, ki ima poleg običajnih šablon, tudi možnost izrisa dinamičnih šablon. To pomeni, da v projektiranem križišču, kjer so že narejene robne linije, lahko po izbrani liniji "zapeljemo" poljubno merodajno vozilo. Program nam nato izriše vrsto podatkov, kot so sledi koles in sledi, ki jih opišejo skrajne točke vozila. Tako se dobi pokrito površino cestišča, ki ga vozilo potrebuje za zavijanje. Ta površina je merodajna za projektiranje odmika nasprotnih linij levih zavijalcev.

Čeprav so v pogojih projektiranja podane minimalne količine, ki jih je potrebno upoštevati pri razmakih med linijami, je v nekaterih posebnih primerih potrebno preveriti prehodnost s šablonami. Posebni primeri so, kadar je kot α med vpadnima smerema različen od 90° . Pogoji navajajo toleranco v velikosti 15° , tako razpon kota križanja α znaša od 75° do 105° . Na primeru je izveden preizkus prehodnosti pri vrednosti kota $\alpha = 90^\circ$ in mejnem kotu križanja vpadnic $\alpha = 75^\circ$.

6.1 Levi zavijalci

Za primer je predpostavljen kontinuirana oblika toka levih zavijalcev skozi križišče.

Na slikah je za ponazoritev uporabljenih več barv. Črna predstavlja os ceste, robne linije križišča in pasov levih zavijalcev. Zelena ponazarja robove otokov, ki so lahko denivelirani

ali samo označeni s horizontalno signalizacijo. Modre linije so skrajne linije, ki jih opiše merodajno vozilo pri vožnji skozi križišče. Te nam podajo pokrito področje, ki ga moramo zagotoviti za prehod merodajnega vozila in so teoretični rezultat, pridobljen s programom Plateia 6.03.

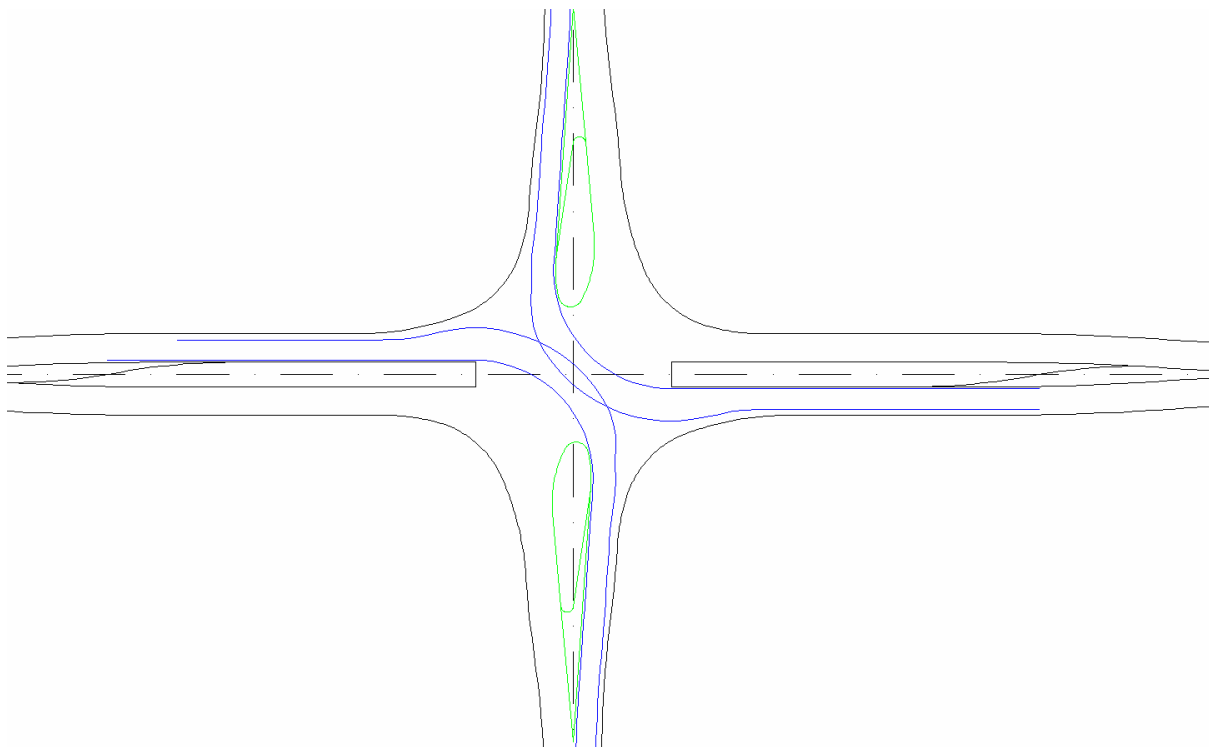
6.1.1 Teoretični primer za kot križanja $\alpha = 90^\circ$

Štirikrako križišče je oblikovano po navodilih v smernici (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005). Osi na glavni in stranski smeri imata obliko preme in se med sabo križata pri kotu $\alpha = 90^\circ$. Širine voznih pasov so $\check{s}_v = 3,5$ m, širine pasov za leve zavijalce so določene na $\check{s}_z = 3,0$ m. Na primarnem toku je za obe smeri narejena razširitev za ločen pas levih zavijalcev, na sekundarni smeri sta oblikovana otoka (Vir: *Smjernice za proj...*, 2005, str.: 39). Polmer krožnega loka, ki vodi leve zavijalce v vseh smereh v območju križanja, znaša $R = 14,17$ m. Robovi za desno zavijanje so v obliki trocentričnih krivin, v razmerju polmerov $R_1 : R_2 : R_3 = 2 : 1 : 3$, z velikostjo srednjega polmera $R_2 = 12$ m.

Za merodajno vozilo je uporabljen kamion s tremi osmi, dolžine 10,10 m in širine 2,50 m. Medosna razdalja znaša 5,30 m.

Pri primeru zavijanja levo iz primarne na sekundarno smer, razdalja med notranjima krivinama pokritega področja znaša $b = 10,12$ m. To zadošča pogoju v smernici, $b_{min} = 8,00$ m. Tako lahko hkrati dve merodajni vozili zapeljeta levo na sekundarno smer. Pokrito področje vožnje vozila ne prestopi roba križišča. Za merodajno vozilo je križišče primerno prehodno.

Pri drugem primeru, kjer zavijanje levo poteka iz sekundarne na primarno smer, je razdalja med notranjima krivinama pri zavijalcih s stranske smeri $b = 6,08$ m, kar je ravno še večje od minimalne razdalje $b_{min} = 6,00$ m. Čeprav je pogoju smernice zadoščeno, se na sliki opazi preklap pokritih področij vozil, ki hkrati zavijata levo iz sekundarnih smeri (slika 9). To je za nivo usluge, ki ga nudi križišče, dovoljeno.

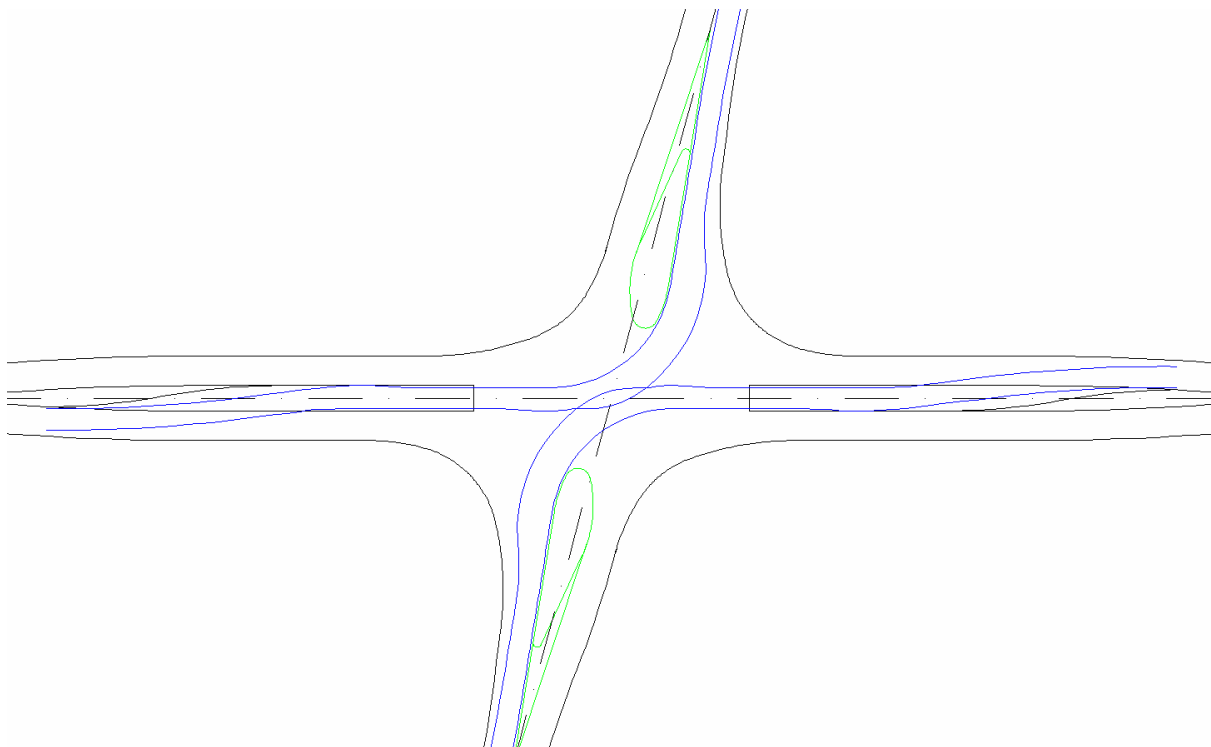


Slika 9: Pokrito področje levega zavijanja iz sekundarne na primarno smer

Pokrito področje pri desnih zavijalcih nikjer ne prestopi meje križišča ali otokov. Tricentrične krivine dobro odgovarjajo vožnji merodajnega vozila.

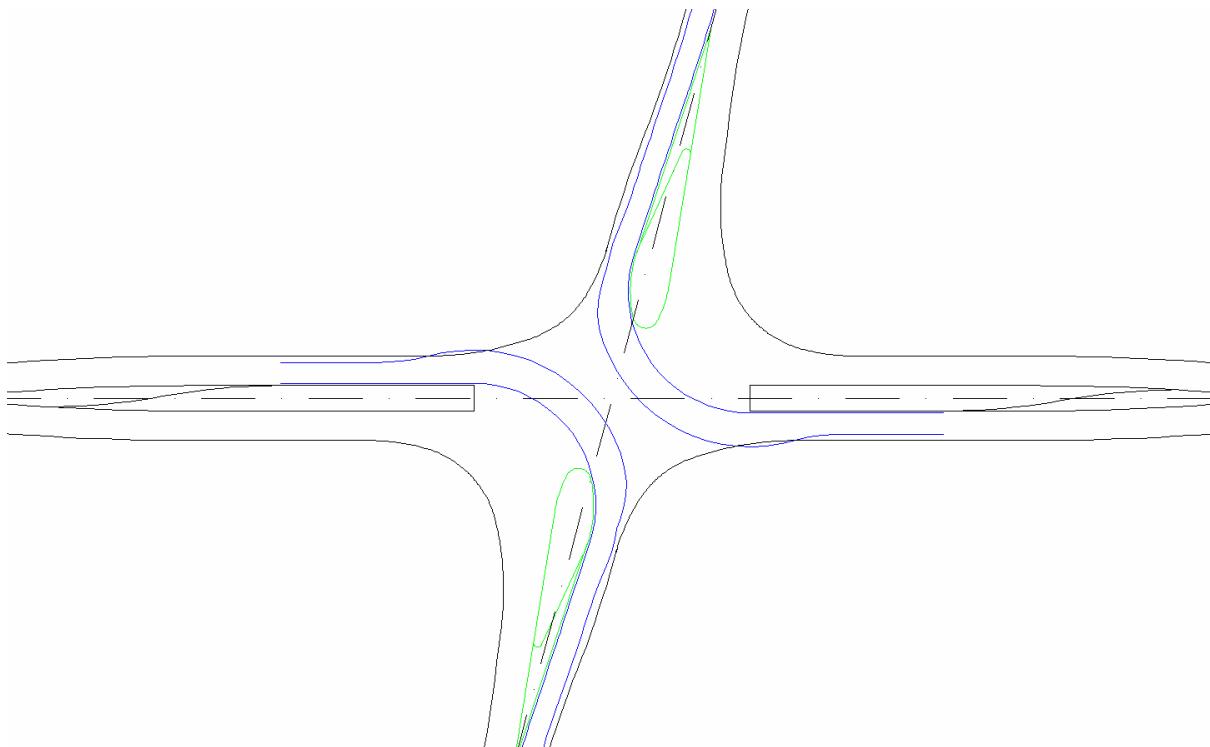
6.1.2 Teoretični primer za kot križanja $\alpha = 75^\circ$

Predhodni primer križišča je preoblikovan tako, da se glavni osi križata pod kotom $\alpha = 75^\circ$. Vhodni podatki so ostali nespremenjeni. Položaj pokritega področja levih zavijalcev s primarne smeri se bistveno spremeni (slika 10). Kot posledica zmanjšane razdalje med notranjima krivinama, ki zdaj znaša $b = 6,17$ m, se pokrita področja preklapljata. Tak način vožnje pri glavni smeri ni dopusten.



Slika 10: Pokrito področje levih zavijalcev iz primarne smeri

Pri levih zavijalcih iz sekundarne smeri je razdalja med notranjima krivinama večja in znaša $b = 13,00$ m, kar pa močno presega minimalne zahteve in tako omogoča zavijanje v levo iz obeh priključkov hkrati (slika 11). Problem se pojavi drugje: zunanja linija pokritega področja prestopi rob križišča.



Slika 11: Pokrito področje levega zavijanja iz sekundarne na primarno smer

Pri desnih zavijalcih tudi pri tem kotu križanja ne prihaja do problemov in je tako z uporabo tricentričnih krivin križišče normalno prevozno.

Moje ugotovitve iz teh teoretičnih primerov so, da se pri levih zavijalcih pri še dovoljenem mejnem kotu križanja osi v premi pojavijo problemi prehodnosti iz glavne na stransko smer, kakor tudi iz stranske na glavno. Takšno oblikovanje ni primerno; potrebno bi ga bilo prilagoditi.

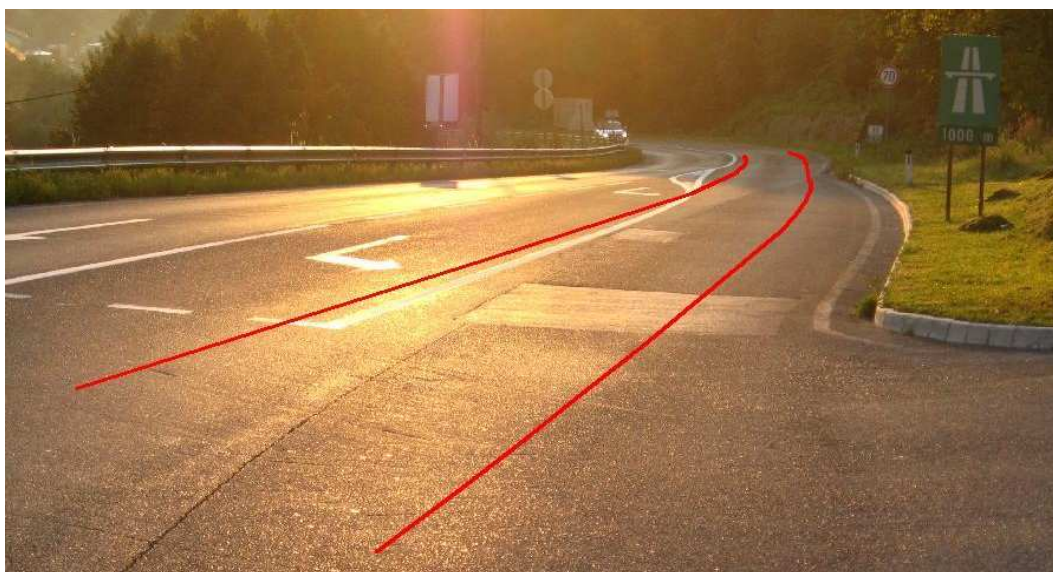
7 PRIMERI KRIŽIŠČ

7.1 Dodan pas za leve zavijalce

Prvi primer

Za prvi primer je obravnavno križišče v obliki T priključka. Na območju priključka je izvedena rekonstrukcija ceste za namen ločenega pasu za leve zavijalce. Os ceste je določena na levi strani voznega pasu glavnega toka, ki je usmerjen enako kot pas za leve zavijalce. Od tu sledi, da je razširitev narejena enostransko. Približni dolžini za razširitvi na obeh straneh znašata okoli 40 metrov.

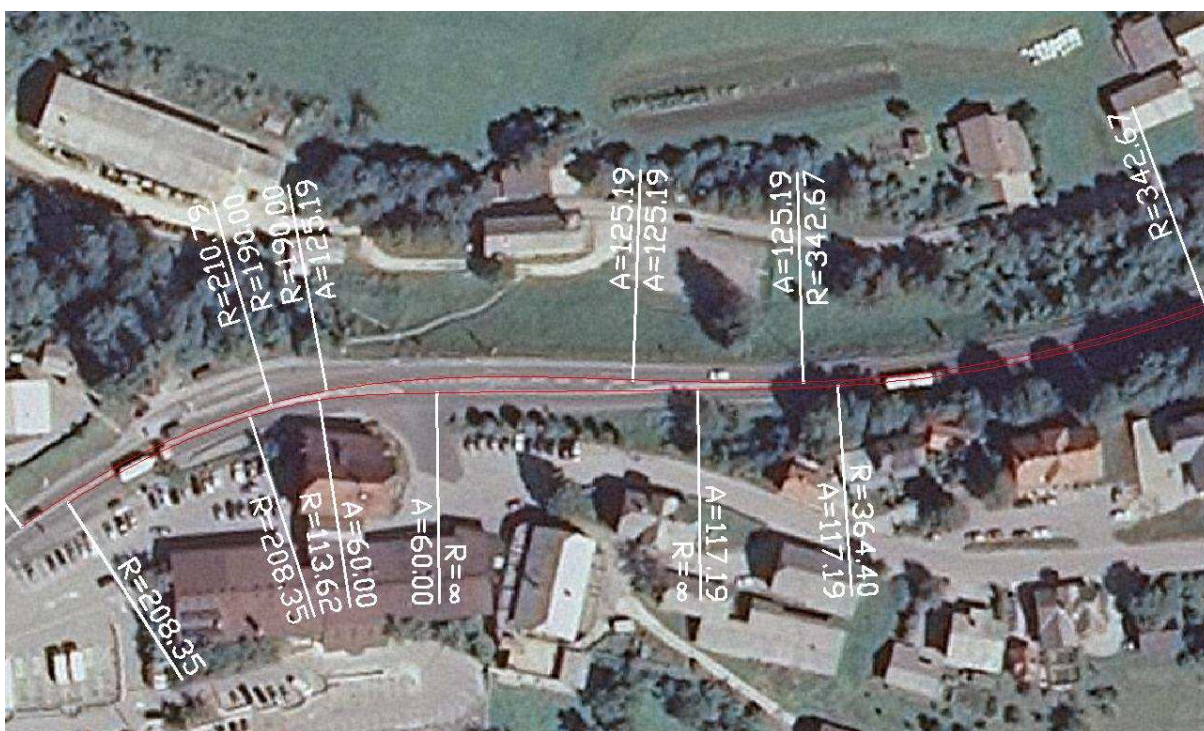
Pri opazovanju asfaltne podlage je možno razločiti zglajene dele, ki so posledica prometa. Ti zglajeni deli so linije, po kateri večina voznikov prepelje križišče. Tu opazimo, da dejanska vožnja v smeri novo zgrajenega pasu precej odstopa od načrtovane. Na sliki so poudarjeni robovi vožnje z dvema rdečima črtama, da je jasno vidno, za koliko je dejanska pot vozil odmaknjena od zgrajenega voznega pasu (slika 12).



Slika 12: Fotografija razširitvenega pasu

V območju razširitve se vidi učinek prekratke dolžine razširitve. Sosednji polmeri v območju razširitve imajo nasprotni predznak. Vozišče vijuga, kar je posledica premajhne dolžine razširitve v smislu, ki je prikazana na teoretičnem primeru v točki 5.1.

Celotno območje križišča s funkcionalnimi področji je prikazano na ortofoto posnetku (slika 13). Tu sta izdelani osi za posamezno smerno vozišče. Izdelani liniji sta najboljši približek dejanski liniji vožnje. S tem je dobljena oblika in velikosti geometrijskih elementov.



Slika 13: T križišče z izrisanimi voznimi linijami

Drugi primer

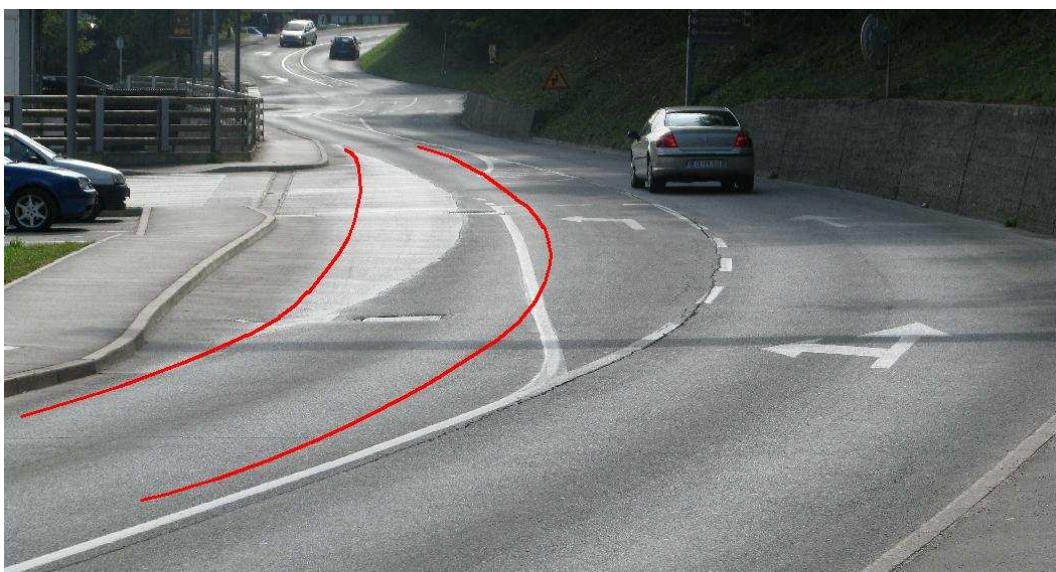
Drugi primer ima precej podobnosti s prvim primerom. Za priključek je narejena dodatna razširitev za pas za leve zavijalce. Glavna os ima v območju pasu levih zavijalcev obliko prehodnice s parametrom $A = 109$, nato pa se nadaljuje v premi. Dograjeni del cestišča se jasno vidi. Razširitev je glede na os ceste izvedena enostransko ter na relativno kratki razdalji.

Desni pas, ki je usmerjen enako kot pas levih zavijalcev, je voden z glavno osjo in razširitev nima nobenega vpliva na njegovo linijo. Vidni deli zglajenega asfalta to samo potrjujejo, saj se sledi prometa relativno dobro ujemajo z zgrajenim potekom voznega pasu (slika 14).



Slika 14: T križišče z naknadno izvedenim pasom za leve zavijalce

Na levem pasu, ki je v nasprotni smeri od pasu levih zavijalcev, so dobro vidne sledi prometa v obliki zglajenega asfalta (slika 14). Linija dejanske vožnje se očitno razlikuje od zgrajenega voznega pasu (slika 15). Že na delu, kjer naj bi vozni pas usmeril voznike v desno, linija vožnje povezi horizontalno označitev razširitve in se nadaljuje deloma po nasprotnem pasu oziroma po pasu za leve zavijalce.



Slika 15: Označitev robov vozne linije

Na podloženem ortofotu sta narisani osi posameznega voznega pasu (slika 16). Osi sta oblikovani tako, da čim boljše ponazorita linijo vožnje. Velikosti elementov je mogoče ovrednotiti. Opazimo lahko, da sta osi vožnje, z manjšimi odstopanji, skoraj vzporedni.



Slika 16: T križišče z izrisanimi voznimi linijami

7.2 Prednostna cesta v zavoju

Posebna oblika križišča je križišče s prednostno cesto, ki zavija. V tem primeru je vodenje glavne smeri potrebno prilagoditi omejitvam, ki nastanejo. Elementi glavnega toka tako ne morejo biti popolnoma skladni s standardi, ki jih zahteva odprta cesta. Prav tako ne smejo biti tako majhni, kot so v primeru zavijanja na križiščih, kjer glavni tok ne zavija. Bistveno je z obliko linije prednostne smeri jasno opredeliti, kako v križišču poteka prednostna cesta.

Primer v urbanem območju

Za primer je izbrano križišče s prednostno cesto v zavoju, ki je umeščeno v urbanem območju, oziroma naselju in ni semaforizirano. Na posnetku ortofoto (slika 17) je jasno videti potek osi. Primarna smer prihaja iz smeri vzhoda in zavija proti jugu. Sekundarna cesta se priključi iz severa. Jasno je, da v smeri sever - jug, linija ceste poteka v premi. Na podlagi informacij, ki jih voznik dobi od oblike vozišča, lahko torej sklepa, da primarna smer poteka naravnost. Taka oblika ne sovпада z navodili za načrtovanje križišč, kjer primarna smer zavija.



Slika 17: Vodenje glavnega toka skozi križišče

Krak, ki prihaja iz vzhodne smeri, ima do območja križanja os v obliki preme (slika 18).



Slika 18: Os kraka na glavnem toku

Razširitev za leve zavijalce na sekundarni smeri je izvedena enostransko (slika 19). Kot v prejšnjih primerih, se tudi tukaj da zadovoljivo določiti meje zglajenega asfalta. Tok vozil, ki zavija levo na primarno smer, v območju razširitve pelje skoraj popolnoma vzporedno z osjo sekundarne smeri in pri tem ne upošteva talne označbe za razširitev, ampak jo v celoti povozi. Dolžina razširitve na to odločno vpliva, saj je dolga le okoli 28 metrov.

Potrebna minimalna dolžina razširitve L_s se izračuna z enačbo (1). Vhodni podatki so povzeti iz ortofota in so naslednji: širina razširitve i znaša $\check{s} = 3,00$ m, računsko hitrost je $V_r = 40$ km/h. Dobljena potrebna razširitvena razdalja $L_s = 40$ m je večja od dejanske.



Slika 19: Razširitev na stranskem kraku

Razširitev vpliva na pas za vožnjo naravnost. Čeprav se tu sledi zglajenega asfalta ne poznajo tako intenzivno, je še vedno mogoče razločiti, kje dejansko poteka vozni tok vozil (slika 20). Viden je vpliv kratke razširitvene dolžine, saj dejanska linija vodi skrajno levo po voznem pasu.



Slika 20: Vodenje linije naravnost

Primer T križišča izven naselja

Drugi primer križišča s prednostno cesto v zavoju je umeščen izven urbanega naselja in na njem ni izvedene semaforizacije. Na ortofoto posnetku je dokaj jasno videti potemnjene dele voznih pasov (slika 21). Oblika križišča je nenavadna, saj je križišče del nedokončane ceste, ki naj bi potekala v smeri jugozahod - severovzhod. Križišče je projektirano na način, kjer naj bi primarni tok vodil naravnost. Dejansko stanje, kjer primarni tok zavija v smeri severozahod - jugozahod, pokaže večja odstopanja vožnje vozil od načrtovanih.



Slika 21: Primarna os zavija

Podobno kot pri prejšnjem primeru, sta tudi tu osi cest na glavni smeri, praktično do področja križanja, v premi. Največje odstopanje od zgrajenega vozišča je opaziti pri zavijanju desno. Tukaj je nastal širok erodiran pas na notranji strani zavoja (slika 22). Erozijska je tako intenzivna, da je na ortofoto posnetku dobro opazna (slika 21).



Slika 22: Erozijska bankina

Preko ortofota se vidi dimenzije robov na notranji strani. Polmer roba asfalta znaša okoli 13 metrov. Polmer, oblikovan zaradi erozije, pa meri slabih 16 metrov. Oba polmera za oblikovanje predstavljata središčni polmer R_2 trocentrične krivine.

7.3 Krožno križišče

Kot je napisano v začetku naloge, so krožna križišča v Sloveniji relativno nova oblika funkcionalnega elementa na cesti. Naslednji primer je eden izmed najprej zgrajenih krožnih križišč na Gorenjskem (slika 23). Lociran je izven urbanega naselja in leži na glavni cesti, ki ima smer vzhod - zahod. Z juga je na križišče speljan avtocestni priključek, s severa pa lokalna cesta. Zunanji premer znaša $D = 50$ m, kar ga po velikosti uvršča v srednje krožno križišče. Širina voznega pasu v krožnem toku znaša $\check{s}_v = 6$ metrov. Polmeri krožnih lokov so na uvozih velikosti $R_u = 11$ m, na izvozih pa $R_i = 14$ m. Ločilni otoki so kapljaste oblike. Na notranji strani krožnega toka znaša širina razširitvenega pasu 0,5 m in ima malo večji prečni naklon od ostalega vozišča. Širina razširitvenih pasov na izvozih je 0,9 m.

Različne barve na ortofotu (slike 23 in od 26 do 29) predstavljajo naslednje linije: modra zunanji rob asfaltirane površine, rumena robnike, svetlo rdeča horizontalno signalizacijo in bela osi cest.



Slika 23: Krožno križišče

Na posnetku ortofoto so jasno vidni potemnjeni deli vozniških pasov (slika 23). Deloma so vidna odstopanja od zgrajenih elementov krožišča. Na uvozih in izvozih je opaziti temne sledi, ki so pomaknjene proti desni strani vozniškega pasu. Še prav posebej izrazito se to pokaže na izvozih, saj tam linija vožnje vodi celo na bankino, torej izven urejene razširitve (slika 24).

Oblika uvozov in izvozov ter velikost otoka omogočajo določeno hitrost vožnje. Pri dejanskem stanju sta izmerjeni naslednji dolžini: dolžina $L = 61,22$ m in defleksija $U = 11,92$ m. Uporaba enačb (4) in (5) pokaže, da teoretična hitrost vožnje skozi polovični krog znaša $V = 33,35$ km/h.



Slika 24: Erozija bankine na izvozu

Podobno odstopanje je možno zaznati v krožnem toku, kjer se linija vožnje nahaja na levem robu voznega pasu. Na nekaterih delih je videti močno erozijo na in izven razširitvenega pasu (slika 25). Takšni mesti sta dve in sicer na južni in severni strani otoka.



Slika 25: Erozija na notranji strani krožnega toka

V naslednjem sklopu slik je prikazana primerjava načrtovanih oblik elementov in oblike elementov, ki so prilagojene sledem vožnje vozil. Temno rdeča barva predstavlja prilagojene krožne loke na vseh in izhodih (sliki 27 in 29).

S pomočjo testiranja na uvozih in izvozih ugotovimo prilegajoč se polmer. Tako je velikost polmera na izvozih določen na 25 metrov, velikost polmera na uvozih pa na 20 metrov. Oblikovani polmeri se prilegajo potemnjeni liniji na vozišču (sliki 27 in 29).



Slika 26: Dejansko stanje



Slika 27: Prilagojeni elementi



Slika 28: Dejansko stanje



Slika 29: Prilagojeni elementi

Spremenjeni so tudi ločilni otoki. Obstoječe stanje ne odgovarja liniji vožnje. Na ortofotu je na straneh otokov opaziti svetlejši del v obliki trikotnika med robom otokov in potemnjnim delom vozišča (sliki 26 in 28). Prilagojena oblika otokov je posledica oblike linije vožnje in se nanaša tudi na velikost notranjih polmerov krožnega toka. Oblika stranic na ločilnem otoku

je iz preme spremenjena v krožni lok. Velikosti polmerov so različne na uvozih in izvozi. Velikost polmera na izvozu znaša 35 m. Oblikovan je na način, da tangira na krožnico, ki ločuje povozni del sredinskega otoka od nepovoznega. Na uvozu je velikost polmera 25 m, oblikovan je na način, da tangira na krožnico, ki ločuje povozni del sredinskega otoka od voznega pasu v krožnem loku (sliki 27 in 29). Na ta način je, še prav posebej na vseh vstopih v krožni tok, linija vožnje bolj usmerjena.

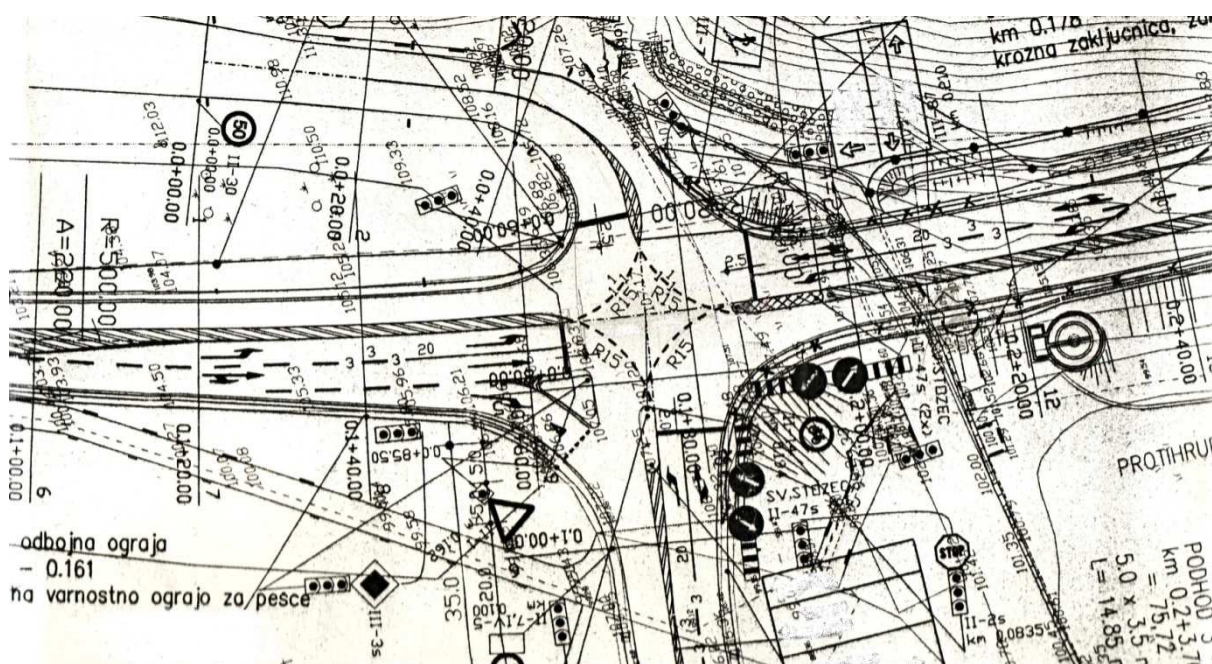
Spremenjena je širina povoznega sredinskega otoka iz 0,5 m na 2,0 m (sliki 27 in 29).

Dolžina $L = 69,86$ m in defleksija $U = 10,78$ m, sta izmerjeni dolžini na prilagojeni obliki krožnega križišča. Uporaba enačb (4) in (5) pokaže, da teoretična hitrost vožnje skozi polovični krog znaša $V = 38,50$ km/h.

7.4 Situacija iz arhiva

Med izbiranjem križišč, primernih za diplomsko nalogo, sem med pregledovanjem projektnega arhiva Direkcije Republike Slovenije za ceste, našel situacijo rekonstrukcije križišča (slika 30). Tu je načrtovan prehod iz obstoječega stanja križišča oblike T s primarno smerjo ki zavija, v križišče oblike X, ki ima primarno smer speljano naravnost. Mojo pozornost je pritegnila prav izvedba linije primarnega loka.

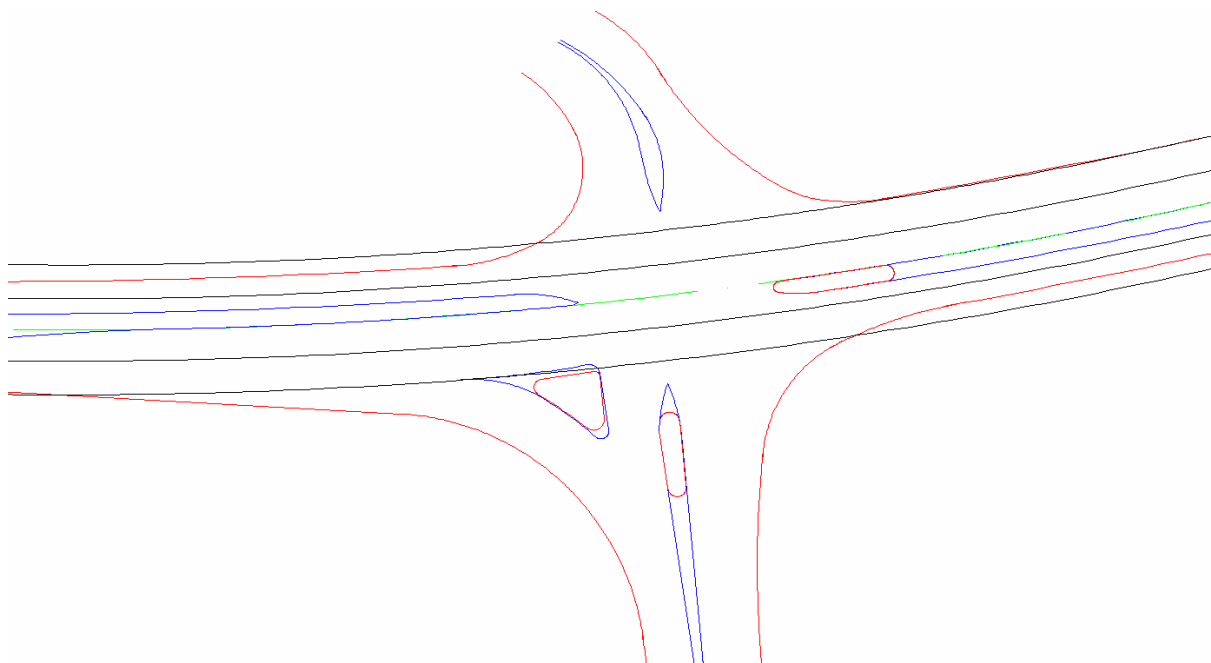
Na primeru situacije so na glavnem toku oblikovane razširitve za leve zavijalce v obeh smereh. Širina teh pasov je $\check{s}_z = 3,0$ m. Širina voznih pasov na glavnem toku znaša $\check{s}_g = 3,25$ m. Za lažjo predstavitev so preko posnetega načrta (slika 30) prerisane bistvene linije križišča (slika 31). Linije rdeče barve predstavljajo robnike na robovih ceste in otokov. Modra barva označuje robove talnih označb, zelena barva pa os ceste na primarnem toku. V črni barvi so dodane vzporednice osi A. Prvi vzporednici sta simetrično oddaljeni od osi A za širino pasu levih zavijalcev, torej $\check{s}_z = 3,0$ m, naslednji dve pa še za širino glavnega pasu $\check{s}_v = 3,25$ m.



Slika 30: Situacija rekonstrukcije T križišča

Obravnavano je ožje področje križišča, kjer so razvrstilni pasovi in območje križanja prometnih tokov. Največje odstopanje, ki ga je možno zaznati pri tej situaciji, je neskladno vodenje glavnega toka skozi križišče. Na področju, kjer so na križišču skupne površine vožnje oziroma na površinah križanja, je primarni tok oblikovan tako, da lahko vozniki v primeru manjše nepozornosti nenamerno zapeljejo s cestišča oziroma s svojega voznega pasu. Na vhodu v to območje je vozni pas za vožnjo naravnost vzporeden z osjo A in od nje oddaljen za širino pasu levih zavijalcev $\check{s}_z = 3,0$ m. Na izhodu je vozni pas še vedno vzporeden osi A, vendar oddaljenost tu znaša meter in pol. Voznik na razdalji okoli 28 metrov s spremembo smeri kompenzira razliko v širini 1,5 metra. Z upoštevanjem enačbe (1) in lastnosti projektiranih elementov, je vožnja po primarnem toku mogoča s hitrostjo $V = 40$ km/h.

Čprav oblika križišča na situaciji zadosti minimalnim pogojem za hitrost $V_r = 40$ km, tako oblikovanje linije za glavni tok ni sprejemljivo, saj ne omogoča tekoče in varne vožnje tam, kjer je to pričakovano. Vzorednici v črni barvi, prikazujeta, na kakšen način naj bi voznik peljal, da bi bila vožnja zvezna (slika 27).



Slika 31: Vozne linije na glavnem toku

8. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je bil namen ugotoviti prevoznost posameznih smeri skozi križišča. Sem spadajo križišča oblik X in T kot tudi krožna križišča. S teoretičnim primerom je bilo pokazano, da se dinamika vozne linije in prevoznost, ob uporabi minimalnih velikosti elementov, lahko bistveno poslabšata. Posledice napačne linije voznih pasov skozi križišča so pogosto vzrok prometnih nesreč, najpogosteje v obliki oplazenja. Tudi pretočnost križišča se zmanjša, saj vozniki iščejo pravo smer ter pri tem ovirajo druge udeležence, ki posledično vozijo počasneje.

Pri razširitvenih dolžinah je bilo pokazano, da zgolj upoštevanje predpisane minimalne razdalje razširitve še ne zagotavlja dobro vodenje linije v križišče ali iz njega. Za vsako načrtovano razširitev je treba posebej preveriti obliko nastalega voznega pasu in jo primerno prilagoditi, da bo ustrezala obliki, ki zagotavlja varno vožnjo.

V samem območju križanja je preverjena prehodnost merodajnega vozila za zavijalce. Izkazalo se je, da oblika križišča, projektirana na način kot določajo pravila pri križanju cest pod pravim kotom, zadovoljuje potrebe nivoja uslug. Do problemov pa prihaja, kadar je v projektiranem križišču kot med križajočima se cestama enak mejnem kotu. Tu nastopijo težave pri prehodnosti, saj ni mogoče, da bi dve merodajni vozili hkrati zavijali levo iz primarne smeri. Njuni pokriti površini se na teoretičnem primeru preklonita, kar v dejanski situaciji pomeni trk vozil. Tako oblikovanje je nedopustno. Na tem mestu bi pravilnik morali dopolniti.

Prevoznost v krožnem križišču je prikazana na stvarnem primeru. Tu je ugotovljeno bistveno odstopanje dejanskih voznih linij od načrtovanih. Ugotovljeno je, da so velikosti polmerov na uvozih in na izvozih za tako obliko križišča premajhne. S preizkušanjem je ugotovljena oblika in velikost središčnega otoka in uvozov ter izvozov, ki se najboljše prilega dejanski liniji vožnje. Za takšno velikost krožnega križišča so izvedeni polmeri premajhni. Od velikosti krožnega križišča je odvisna primerna velikost uvoznih in izvoznih polmerov. Tehnične

smernice dopuščajo še veliko poskusnega projektiranja, saj oblike vhodov in izhodov za različne velikosti krožnih križišč niso točno določene.

S predstavitvijo dejanskih primerov z ortofoto posnetki in fotografijami, skušam prikazati možne posledice napačno zgrajenih križišč. Takšna križišča ne omogočajo dobre propustnosti in varne vožnje. Pri projektiranju križišč bi morala biti izdelana os za vsak vozni pas posebej, na podlagi katere bi se oblikovali ostali elementi.

VIRI

Andus, V., Bojovič, A., Bajić, D., Cvetković, S., Gojković, M., Joksić, Z., Kovačević, P., Maletin, M., Milićević, M., Milošević, B., Nikolić, D., Obradović, M., Popović, B., Radojković, Z., Stevanović, D., Stevanović, B., Stipanić, B., Terzić, M., Veljković, M., Venčanin, S., Vojnić, Ž., Zrnčić, P. 1987. *Tehničar – građevinski priručnik 5. IX izdanje. Beograd, BIGZ: 1253 str.*

Lipičnik M. 1986. *Priručnik za izračunavanje elemenata i obeležavanje unutrašnje ivice kolovoza u krivinama malog radijusa. Beograd, IRO "Građevinska knjiga": 389 str.*

Maletin, M. 2005. *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima. Prvo izdanje. Beograd, Orion art: 474 str.*

Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Knjiga I: Projektovanje, Dio 1: Projektovanje puteva, Poglavlje 4: Funkcionalni elementi I površine puta. 2005. Sarajevo, Banja Luka, Direkcija cesta federacije BiH, Sarajevo: 369 str.

Tehnična specifikacija za javne ceste. TSC 03.341 : 2002, Krožna križišča. 2002. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste, 36 str.

Tollazzi, T. 2005. *Krožna križišča. Druga dopolnjena izdaja. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 186 str.*

Viri na internetu

Spletna stran Geodetske Uprave Republike Slovenije (GURS):

<http://www.gu.gov.si> (15. 9. 2008)