

NOV TIP KROŽNEGA KRIŽIŠČA: KROŽNO KRIŽIŠČE S PRITISNJENIMI PASOVI ZA DESNE ZAVIJALCE – »FLOWER ROUNDABOUT« NEW TYPE OF ROUNDABOUT: ROUNDABOUT WITH »DEPRESSED« LANES FOR RIGHT TURNING – »FLOWER ROUNDABOUT«

prof. dr. Tomaž Tollazzi, univ. dipl. inž. grad.

tomaz.tollazzi@uni-mb.si

doc. dr. Marko Renčelj, univ. dipl. inž. grad.

marko.rencelj@uni-mb.si

Goran Jovanović, univ. dipl. inž. grad.

goran.jovanovic@appia.si

Sašo Turnšek, univ. dipl. inž. grad.

saso.turnsek@uni-mb.si

UNIVERZA V MARIBORU

Fakulteta za gradbeništvo

Znanstveni članek

UDK: 625.73

Povzetek | V zadnjem času mnoge tuje prometnovarnostne analize kažejo na nizko raven prometne varnosti večpasovnih krožnih križišč. Predvsem so sporna prepletanja na krožnem vozišču oziroma menjave prometnih pasov, ki so nujno potrebne za uporabo vseh krožnih prometnih pasov, s čimer se doseže največja kapaciteta večpasovnega krožnega križišča. V svetu problem nizke ravni prometne varnosti v večpasovnih krožnih križiščih rešujejo na več načinov, kot najuspešnejši pa se je pokazal način z zmanjševanjem števila konfliktnih točk. Tip krožnega križišča, ki bistveno zmanjša število konfliktnih točk, je krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča oziroma t. i. turbokrožno križišče. Vendar ima tudi turbokrožno križišče svoje pomanjkljivosti. S stališča prometne varnosti so predvsem problematične konfliktni točke križanja, pri katerih so posledice prometnih nesreč največje. Prav tako je rekonstrukcija obstoječega dvopasovnega krožnega križišča v turbokrožno križišče finančno zahtevna – potreben je večji gradbeni poseg (rušenje, prestavitev cestnih robnikov, prestavitev ločilnih otokov, javne razsvetljave ipd.). V prispevku je predstavljen nov tip krožnega križišča. Gre za krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje. Ta tip krožnega križišča združuje pozitivne lastnosti običajnega dvopasovnega krožnega križišča in turbokrožnega križišča.

Summary | Recently, many of the foreign traffic-safety analyses have pointed out the low level of traffic safety in the multi-lane roundabouts. Weaving in the circulatory carriageway or changes of traffic lanes have been particularly at issue, however, they are essential for the exploitation of all circulatory traffic lanes, whereby the maximum capacity of the multi-lane roundabout can be achieved. The problem of low traffic safety in the multi-lane roundabouts is solved in various ways in different countries – however, the solution, whereby the number of conflict points is diminished had proven to be the

most successful. The roundabout with the spiral course of the circulatory carriageway (or the turbo roundabout) is a type of roundabouts, which significantly diminishes the number of conflict points. However, the turbo roundabout also has its deficiencies. From traffic safety point of view, the turbo roundabout has conflict crossing points, where the consequences of traffic accidents are the worst. In addition, the reconstruction of existing two-lane roundabout to the turbo roundabout is financially demanding – we need larger construction works to be done (demolition / displacement of the existing road curbs, transpose dividing islands and public lightning etc.). In this paper, we introduce a new type of roundabouts, the roundabout with “depressed” lanes for the right turning or so-called “the flower-roundabout.” Financially speaking, the main advantage of the new type of the roundabout is its possibility to be implemented within the dimensions of the already existing “normal” two-lane roundabout. From the traffic-safety point of view, the main advantage of the new type of roundabout is that it has no crossing conflict points.

1 • UVOD

V zadnjem času mnoge tuje prometnovarnostne analize kažejo na nizko raven prometne varnosti običajnih večpasovnih krožnih križišč in slabe izkušnje z njimi (Hansen, 2006), enako pa velja tudi za Slovenijo. Zaradi tega v mnogih državah iščejo rešitve, s katerimi bi izboljšali raven prometne varnosti v obstoječih običajnih večpasovnih krožnih križiščih ((Fortuijn, 2003), (Mauro, 2010)).

Različne države rešujejo ta problem na različne načine, ki pa jih lahko uvrstimo v štiri skupine ukrepov. Višjo raven prometne var-

nosti v običajnih večpasovnih krožnih križiščih lahko dosežemo z:

- zmanjšanjem števila vozniških pasov na krožnem vozišču (slaba rešitev, ker povzroči zmanjšanje prepustne sposobnosti),
- zmanjšanjem števila vozniških pasov na uvozih/izvozih iz krožnega križišča (slaba rešitev, ker povzroči zmanjšanje prepustne sposobnosti),
- povečanjem premera krožnega križišča, s čimer se podaljšajo razpoložljive dolžine za prepletanje (finančno slaba rešitev),

- zmanjšanjem števila konfliktnih točk (dober kompromis med finančno zahtevnostjo na eni strani in povečanjem prepustne sposobnosti in ravni prometne varnosti na drugi).

V zadnjem času vse več držav rešuje problem nizke ravni prometne varnosti običajnih večpasovnih krožnih križišč z uporabo zadnjega, prej navedenega načina – z zmanjšanjem števila konfliktnih točk. Eden od načinov zmanjšanja števila konfliktnih točk je krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča oziroma turbokrožno križišče ((Fortuijn, 2001), (Fortuijn, 2009)).

2 • DOSEDANJE SLOVENSKE IZKUŠNJE S TURBOKROŽNIMI KRIŽIŠČI

Ideja turbokrožnih križišč se je zelo hitro (praktično v nekaj letih od nastanka prvih primerov takih krožnih križišč na Nizozemskem) prenesla v slovenski prostor. Vzrokov

za to je več, med njimi pa so po mnenju avtorjev članka najpomembnejši:

- v Sloveniji smo v preteklosti delali premajhna dvopasovna krožna križišča, ki pa

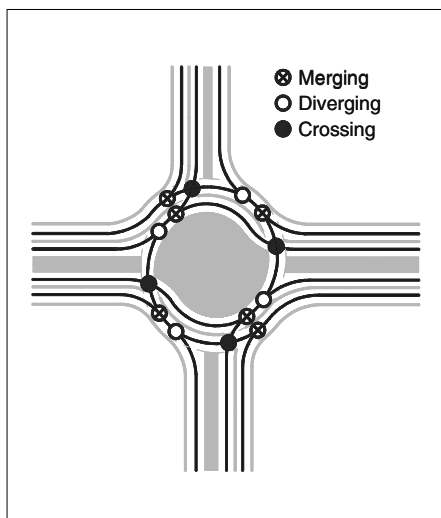
so »skregana« z zakonskim določilom o obvezni uporabi notranjega krožnega voznega pasu v primeru, da voznik ne zapušča krožnega križišča na prvem naslednjem izvozu, ter z dolžinami, ki jih potrebuje povprečen voznik za menjavo voznega pasu v krožnem vozišču,



Slika 1 • Prvo slovensko turbokrožno križišče v Kopru



Slika 2 • Eno od treh mariborskih turbokrožnih križišč



Slika 3 • Konfliktne točke v štirikrakovnem turbokrožnem križišču

– nizka raven slovenske prometne kulture povzroča neatraktivnost uporabe notranjega krožnega voznega pasu za voznike začetnike in starejše osebe, saj imajo ti težave pri uvažanju in izvažanju iz krožnega križišča, najbolj pa je problematična menjava voznega pasu v krožnem vozišču.

V tem trenutku imamo v Sloveniji šest turbokrožnih križišč (sliki 1 in 2), od katerih je eno semaforizirano, za tri turbokrožna križišča je projektna dokumentacija že izdelana, za dve pa je v izdelavi. Pet turbokrožnih križišč je ves čas podvrženih opazovanju in analiziranju, saj so v tem trenutku praktično šele na začetku delovanja in še ne moremo z gotovostjo trditi, da se bodo obnesla enako dobro, kot so se na Nizozemskem. Namreč neizpodbitno dejstvo je, da so prvi primeri turbokrožnih križišč zunaj Nizozemske nastali najprej v Sloveniji in šele potem v Nemčiji in na Madžarskem. Na Poljskem so šele pred kratkim izvedli prvo kvaziturbokrožno križišče (z montažnimi robniki), vendar z njegovim učinkom niso zadovoljni. Tudi v ZDA so do njih še zelo zadržani, zato v njihovih najnovejših predpisih za krožna križišča (NCHRP, Report 672, 2010) umirjajo projektante in sugerirajo čakanje na več izkušenj iz Evrope.



Slika 4 • Konfliktne točke križanja na uvozu na notranji krožni vozni pas z notranjega uvoznega pasu

Na osnovi opazovanj dogajanj (občasna videosnemanja: potekanje prometa, konfliktne situacije) in analiz (podatkov o skritih meritvah hitrosti, podatkov o prometnih nesrečah, ki jih posredujejo dve policijski upravi, podatkov o mnenjih uporabnikov ...) lahko ugotovimo, da slovenska turbokrožna križišča upravičujejo pričakovanja glede njihove prepustnosti (Tollazzi, 2006), še bolj pa glede visoke ravni njihove prometne varnosti. Na tem mestu je treba poudariti, da so prometne nesreče v slovenskih turbokrožnih križiščih le izjeme in ne pravilo ter da so posledice teh nesreč praviloma le materialna škoda.

Ne glede na prej navedeno pa je treba poudariti, da tudi turbokrožno križišče ni idealna rešitev, da ne rešuje vseh problemov, da njegova izvedba ni vedno upravičena in da ima tudi turbokrožno križišče določene pomanjkljivosti.

Štirikrakovno turbokrožno križišče s štiripasovno cesto na glavni prometni smeri ter dvopasovnimi uvozi in enopasovnimi izvozi na stranski prometni smeri ima šest konfliktnih točk priključevanja, štiri konfliktne točke odcepljanja (Kenjić, 2008), za razliko od običajnega dvopasovnega krožnega križišča nima konfliktnih točk prepletanja, ima pa štiri konfliktne točke

križanja, kar je največja pomanjkljivost tega tipa krožnega križišča (Mauro, 2010) (slika 3).

V dveh turbokrožnih križiščih od analiziranih petih opažamo občutek nevarnosti (zmedenosti, zadržanosti) pri voznikih, ki se v križišče pripeljejo na notranji krožni vozni pas (slika 4). Dejstvo je, da voznik v obeh primerih pri tem prometnem manevru prečka zelo močan prometni tok in se priključuje na drugi, približno enako močan prometni tok, kar pri vozniku povzroča občutek nevarnosti. Zato vozniki pripeljejo v križišče ali izredno počasi ali pa samo v primeru, ko so druga vozila zelo oddaljena.

Tako je mogoče ugotoviti, da imajo konfliktne točke križanja v turbokrožnih križiščih večji negativen vpliv na propustnost, kot je bilo pričakovano na začetku procesa njihove uvedbe.

Ne glede na vse prej navedene dobre slovenske izkušnje s turbokrožnimi križišči pa se postavlja vprašanje:

Kaj narediti z obstoječimi, manj varnimi običajnimi večpasovnimi križišči?

Iluzorno je namreč pričakovati, da bi jih lahko (predvsem zaradi finančnih razlogov) vse rekonstruirali v turbokrožna križišča!

Možna rešitev je krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje. Da bi se izognili vsakokratnemu navajanju dolgega naziva, smo ga glede na analogijo s krožnim križiščem s spiralnim potekom krožnega vozišča (krajše: turbokrožnim križiščem), in ker nekoliko spominja na obliko cveta, ter glede na dejstvo, da bo promoviran tudi v tuji literaturi, poimenovali »flower roundabout«.

3 • KROŽNO KRIŽIŠČE S PRITISNJENIMI PASOVI ZA DESNO ZAVIJANJE

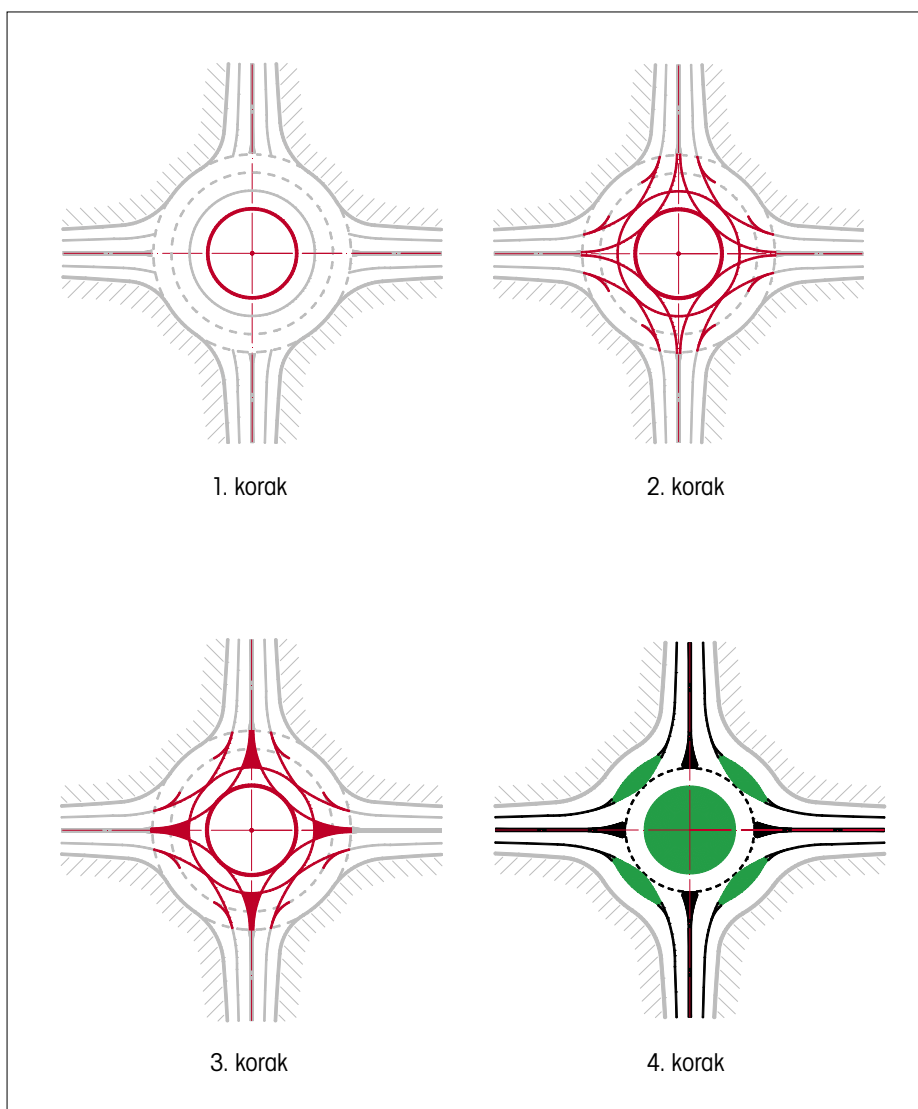
3.1 Osnovne lastnosti

Postavlja se vprašanje, ali je mogoče kombinirati pozitivne lastnosti različnih tipov krožnih križišč in hkrati eliminirati njihove negativne lastnosti oziroma:

Ali je mogoče eliminirati konfliktne točke križanja in prepletanja v obstoječem običajnem dvopasovnem krožnem križišču in s tem zagotoviti višjo raven prometne varnosti ob nezmanjšani prepustni sposobnosti krožnega križišča?



Slika 5 • Krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje – »flower roundabout«



Slika 6 • Postopek rekonstrukcije obstoječega običajnega dvopasovnega krožnega križišča v krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desne zavijalce

Ena od glavnih lastnosti krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi je enaka kot pri turbokrožnem križišču – fizično ločeni prometni pasovi na krožnem vozišču (Tollazzi, 2010, a, b).

Njegova naslednja lastnost je, da imajo vsi desni zavijalci svoj ločeni pas (slika 5). To povzroča, da notranji krožni vozni pas uporabljajo le vozila, ki vozijo skozi krožno križišče (180°) ali zavijajo za tri četrtine kroga (270°) oziroma polkrožno obračajo (360°).

S fizičnim ločevanjem desnih zavijalcev dobimo enopasovno krožno križišče, kjer (za razliko od turbokrožnega križišča) nimamo konfliktnih točk križanja in (za razliko od običajnega dvopasovnega krožnega križišča) niti konfliktnih točk prepletanja. Imamo le štiri konfliktni točke priključevanja in štiri odcepljanja. Konfliktni točke prepletanja se s krožnega vozišča (v krivini) prenesejo na odsek ceste pred krožnim križiščem (praviloma v premi), kar je prometno varnejša rešitev.

Naslednja pozitivna lastnost tega tipa krožnega križišča je, da je »error-forgiving«: četudi se vozilo na uvozu v krožišče pomotoma razvrsti na notranji krožni prometni pas, še vedno obstaja možnost, da na prvem naslednjem izvozu zapusti krožno križišče.

Verjetno najboljša lastnost krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi za desne zavijalce je, da je izvedljivo v gabaritih obstoječega, že izvedenega, običajnega dvopasovnega krožnega križišča. Za razliko od turbokrožnega križišča v tem primeru ni potrebe po prestavljanju zunanjih robnikov, rušenju ločilnih otokov, prestavljanju javne razsvetljave ... niti po odkupu dodatnega zemljišča. V primeru rekonstrukcije običajnega dvopasovnega krožnega križišča v krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje lega vseh robnikov zunanjega premera, ločilnih otokov in uvozov ostane nespremenjena.

3.2 Konstrukcija krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi za desne zavijalce v mejah izvedenega običajnega dvopasovnega krožnega križišča

Za rekonstrukcijo obstoječega običajnega dvopasovnega krožnega križišča v krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desne zavijalce je treba zgraditi le še en krožni vozni pas proti središču krožnega križišča in podaljšati ločilne otoke proti sredinskemu otoku (Tollazzi, 2010b). Rekonstrukcija se izvede v štirih korakih (slika 6):

1. korak: zgradi se dodatni krožni vozni pas proti središču krožnega križišča;

2. korak: podaljšajo se konstrukcijske črte uvozov in izvozov;
3. korak: podaljšajo se ločilni otoki za širino enega krožnega voznega pasu proti središču krožnega križišča;
4. korak: druge površine, ki ostanejo po rekonstrukciji, se preuredi v zelene površine.

Taka konstrukcija je izvedljiva na štiripasovnih kot tudi dvopasovnih cestah. V primeru, da se izvede na dvopasovni cesti, je pred krožnim križiščem treba zgraditi dodatni pas ustrezne dolžine. Dobljen novi sredinski otok mora seveda imeti polmer, ki je večji od zahtevanega minimalnega polmera.

3.3 Primerjava prepustne sposobnosti »flower«, običajnega dvopasovnega in turbokrožnega križišča

Predmet obravnave je bilo obstoječe, izolirano, običajno dvopasovno štirikrako krožno križišče na mariborski zahodni obvoznici.

Izračun je izveden z uporabo mikrosimulacijskega paketa PTV VISSIM (slika 7).

V analizi so vrednoteni zastoji in dolžine kolon za štiri različne variante prometnih obremenitev, na osnovi katerih je izvedena primerjava zgoraj navedenih kapacitetnih parametrov. Ker iz variantnih rešitev ni bilo mogoče ugotoviti razlike med tremi tipi krožnih križišč, so bili uvedeni še trije scenariji glede na delež vozil, ki zavijajo v desno na glavni prometni smeri (40 %, 60 % in 80 %), obremenitve (levo in naravnost) so bile enako razporejene (na primer v scenariju 40 % to pomeni, da imamo 30 % levih zavijalcev in 30 % vozil, ki vozijo naravnost). Stranske prometne smeri so bile obremenjene s 75, 100, 125 in 150 vozili v konični uri (Tollazzi, 2006).

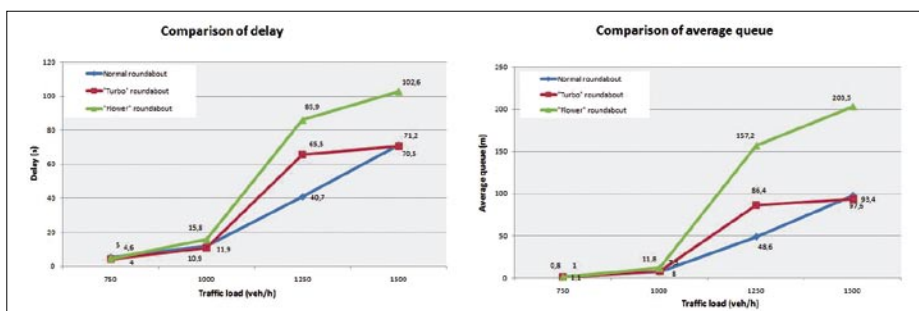
Rezultati mikrosimulacije kažejo, da pri majhnih prometnih obremenitvah ni bistvene razlike med »flower«, običajnim dvopasovnim in turbokrožnim križiščem. Zastoji in dolžine kolon so približno enaki.

Pri večjih prometnih obremenitvah (varianti 1250 in 1500) razlike v prid »flower« krožnega križišča nastopijo pri večjem odstotku desnih zavijalcev od skupne količine vozil na glavni prometni smeri (slike 8, 9 in 10). Zastoji v scenariju 80 % in varianti 1250 so v »flower« krožnem križišču 20,02 s (LOS = C), v običajnem dvopasovnem krožnem križišču 40,2 s (LOS = D), v turbokrožnem križišču pa 66,4 s (LOS = D).

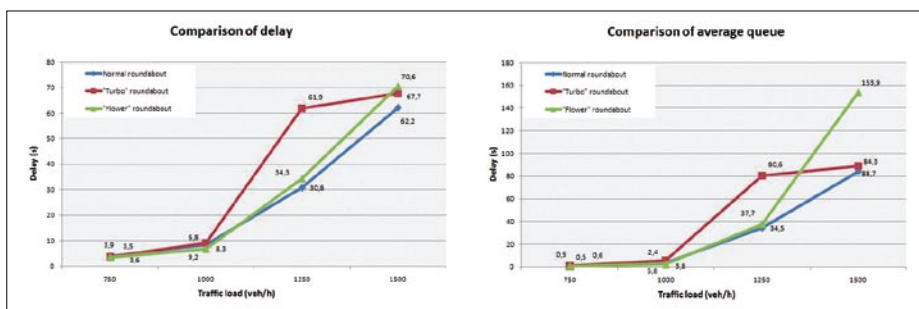
»Flower« krožno križišče »pregori« v trenutku, ko je presežena prepustnost enopasovnega krožnega križišča:



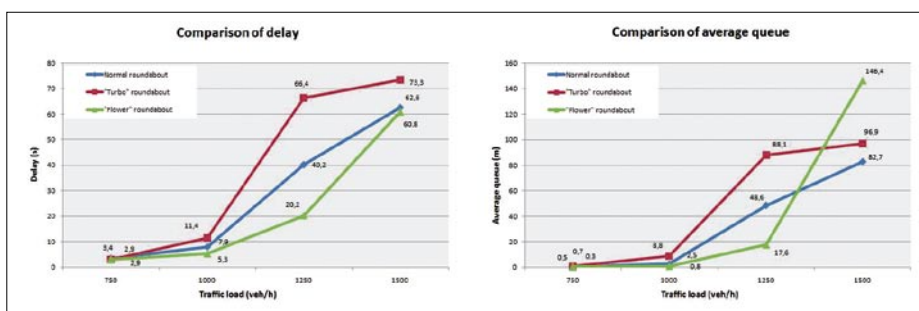
Slika 7 • Matematični model in 3D-simulacija krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje, izdelana s PTV VISSIM 5.20



Slika 8 • Scenarij s 40 % desnih zavijalcev



Slika 9 • Scenarij s 60 % desnih zavijalcev



Slika 10 • Scenarij s 80 % desnih zavijalcev

- v primeru enakomerno obremenjenih uvozov pri približno 25.000 vozilih na dan (vsota vseh uvozov),
- pri približno 1350 vozilih v konični uri na krožnem vozišču.

Ideja krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi za desne zavijalce je – zgolj zaradi zaščite avtorskih pravic – patentirana na Uradu RS za intelektualno lastnino RS (Tollazzi, 2010b).

4 • SKLEP

V zadnjem času mnoge tuje prometnovarnostne analize kažejo na nizko raven prometne varnosti običajnih večpasovnih krožnih križišč in na slabe izkušnje z njimi. Podobno velja tudi za Slovenijo. Zaradi navedenega v mnogih državah iščejo rešitve, s katerimi bi izboljšali raven prometne varnosti v takšnih krožnih križiščih. Ena od možnih rešitev je krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča oziroma turbokrožno križišče. Vendar ima tudi turbokrožno križišče določene pomanjkljivosti in ni dovolj ustrezna rešitev v vseh primerih. Četudi bi turbokrožno križišče ne imelo pomanjkljivosti, ni za pričakovati, da bi vsa

običajna večpasovna krožna križišča lahko rekonstruirali v turbokrožna križišča. Predvsem zaradi finančne zahtevnosti.

Krožna križišča z mimobežnimi pasovi (bypass) so že dolgo znana v tujini. Tudi slovenska tehnična specifikacija za krožna križišča predvideva mimobežne pasove, prav tako imamo v Sloveniji že izvedena takšna krožna križišča.

Ideja krožnega križišča s pritisnjenimi pasovi temelji na ideji mimobežnih pasov, ki se jih umesti kot pritisnjene ob zunanji rob enopasovnega krožnega križišča. S takšno rešitvijo, ko desne zavijalce iz vseh smeri vodimo mimo

krožnega križišča, lahko bistveno razbremenimo krožno vozišče. V takšnem primeru se torej izvedejo vsi štirje mimobežni pasovi. Rešitev je izvedljiva v gabaritih obstoječega običajnega dvopasovnega krožnega križišča.

Bistvo »flower« krožnega križišča je, da eliminira negativne lastnosti obeh doslej uporabljenih krožnih križišč: običajnega dvopasovnega in turbokrožnega križišča.

»Flower« krožno križišče je ustrezna rešitev v primeru zelo velikega deleža desnih zavijalcev na vseh krakih križišča (več kot 60 %), kapacitetno pa pregori, ko je presežena prepustna sposobnost enopasovnega krožnega vozišča. Ideja »flower« krožnega križišča je bila predstavljena na International Roundabout Conference v Carmelu, Indiana, ZDA, maja 2011, kjer je bilo za to novost veliko zanimanja.

5 • LITERATURA

- Fortuijn, L. G. H., Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts, Dilemma of Confort and Safety, Institute of Transportation Engineers (ITE), Annual Meeting, Seattle, ZDA, 2003.
- Fortuijn, L. G. H., Turbo Roundabouts, Design Principles and Safety Performance, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, Volume 2096/2009, 2009.
- Fortuijn, L. G. H., Carton, P. J., Turbo Circuits, A well-tried concept in a new guise, Board of Economy and Transport, Province of South Holland, objavljeno na: <http://www.pzh.nl>, 2001.
- Hansen, I. A., Fortuijn, L. G. H., Steigerung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit von mehrspurigen Kreisverkehrsplätzen durch Spiralform, Straßenverkehrstechnik Nr.1, 2006
- Kenjic, Z., Kružne raskrsnice – rotori, Holandska iskustva, 1. BH kongres o cestama, 2007.
- Mauro, R., Branco, F., Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turboroundabouts, Journal of Transportation Engineering-ASCE, Volume 136/2010, No. 4, str. 284–296, 2010.
- Mauro, R., Cattani, M., Potential accident rate of turbo-roundabouts, TRB 4th international symposium on Highway Geometric Design, Wasghington DC, Transportation research Board, Valencia, 2.–5. junij 2010, 2010.
- NCHRP, Report 672, Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition, Transport Research Board, Washington, 2010.
- Tollazzi, T., Toplak, S., Jovanović, G., Ocena kapacitete turbokrožnega križišča. Gradbeni vestnik, letnik 55, str. 310–318, 2006.
- Tollazzi, T., Renčelj, M., Jovanovic, G., Turnšek, S., Roundabout with »depressed« lanes for a right turnings – »flower-roundabout«, XVII International Scientific Symposium on Transport Systems 2010, Croatia, Opatija, 2010.
- Tollazzi, T., Renčelj, M., Turnšek, S., Jovanović, G., Krožno križišče s pritisnjenimi pasovi za desno zavijanje: patentna prijava št. P-201000026, 28. januar 2010. Ljubljana, Urad RS za intelektualno lastnino, 2010.