

METODE POBOLJŠANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA U HORIZONTALNIM KRIVINAMA SA KRITIČNIM RADIJUSIMA

Sara Krsmanović¹, Panta Krstić², Miloš Šešlija³

¹ Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu – Departman za građevinarstvo i geodeziju, sarakrsmanovic@uns.ac.rs

² Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu – Departman za građevinarstvo i geodeziju, panta.krstic@uns.ac.rs

³ Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu – Departman za građevinarstvo i geodeziju, sele@uns.ac.rs

Rezime: Rad se bavi analizom bezbednosti saobraćaja u horizontalnim krivinama sa kritičnim radiusima, kao jednim od najrizičnijim elementima putne infrastrukture. Analizirani su ključni faktori rizika, kao što su mali radiusi krivina, neusklađenost projektovane i stvarne brzine, smanjeno trenje i nepovoljni uslovi u putnom pojasu. Predložene su mere za unapređenje bezbednosti saobraćaja, koje obuhvataju niskobudžetne metode u vidu poboljšanja signalizacije i preglednosti, kao i građevinske mere koje uključuju unapređenje geometrije puta i stanja kolovoza. Rad ukazuje na značaj pravovremene identifikacije rizičnih lokacija i primene adekvatnih mera, sa ciljem smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i povećanja nivoa bezbednosti.

Ključne reči: horizontalne krivine, kritični radius, bezbednost saobraćaja, stabilnost vozila, trenje, kolovoz

METHODS FOR IMPROVING TRAFFIC SAFETY IN HORIZONTAL CURVES WITH CRITICAL RADIUS

Sara Krsmanović¹, Panta Krstić², Miloš Šešlija³

¹ Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad – Department of Civil Engineering and Geodesy sarakrsmanovic@uns.ac.rs

² Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad – Department of Civil Engineering and Geodesy panta.krstic@uns.ac.rs

³ Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad – Department of Civil Engineering and Geodesy sele@uns.ac.rs

Abstract: This paper analyzes traffic safety in horizontal curves with critical radii, which represent one of the most hazardous elements of road infrastructure. Key risk factors are examined, including small curve radii, inconsistency between design and operating speeds, reduced pavement friction, and unfavorable roadside conditions. A set of measures for improving traffic safety is proposed, including low-cost treatments such as enhanced signage and visibility, as well as engineering measures involving improvements to road geometry and pavement condition. The paper highlights the importance of timely identification of high-risk locations and the implementation of appropriate countermeasures in order to reduce the number of traffic accidents and improve overall traffic safety.

Keywords: horizontal curves, critical radius, traffic safety, vehicle stability, friction, pavement

1. UVOD

Projektovanje trase puta je inženjerskoj struci opšte poznat postupak u okviru kog se na početku nastoje definisati granične vrednosti elemenata situacionog plana i uzdužnog profila, a na osnovu usvojene računске brzine deonice (Vrač). Računska brzina (Vrač) se usvaja u zavisnosti od funkcionalne kategorije saobraćajnice i karakteristika terena kroz koji prolazi deonica puta. Minimalni radius horizontalne krivine (R_{min}) predstavlja osnovni parametar na osnovu kojeg se definiše jedna horizontalna krivina i on se usvaja iz uslova sigurnosti vožnje pri maksimalnoj vrednosti poprečnog nagiba kolovoza. Minimalni radius (R_{min}) prema važećim pravilnicima za projektovanje puteva mora biti ispoštovan na svakom delu trase.

U praksi se vrlo često projektuju deonice puteva sa radiusima horizontalnih krivina znatno manjim od minimalnih vrednosti pri čemu dolazi do narušavanja skladnosti same trase, naglog smanjenja željene brzine vožnje i ugrožavanja sigurnosti vozača. Vrlo je čest slučaj zastarelih deonica puteva koje su projektovane i

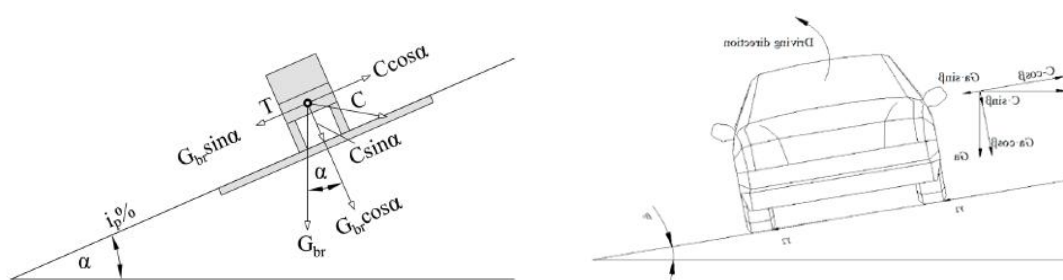
² Panta Krstić: panta.krstic@uns.ac.rs

građene prema tadašnjim standardima koji su sa današnje tačke gledišta neadekvatni. Statistički podaci pokazuju da se više od 50 % nesreća događa na vangradskim dvotračnim putevima, dok se polovina ukupnog broja nesreća dogodi u horizontalnim krivinama [1]. Stoga je u ovom radu data je analiza, sistematizacija i uporedni prikaz mogućih rešenja za poboljšanje odvijanja saobraćaja u zonama horizontalnih krivina sa kritičnim radijusima. Poseban fokus rada usmeren je na identifikaciju ključnih faktora rizika u horizontalnim krivinama i definisanje efikasnih mera za unapređenje bezbednosti saobraćaja.

2. STABILNOST VOZILA U KRIVINI U ZAVISNOSTI OD GEOMETRIJE PUTA

Prvi korak u dimenzionisanju elemenata poprečnog profila, situacionog plana i uzdužnog profila jeste određivanje merodavnih brzina vožnje. Računska brzina (Vrač) kao usvojena teorijska vrednost omogućava definisanje i usvajanje najstrožijih geometrijskih elemenata puta. Po pravilu, minimalni elementi projektne geometrije biće primenjivani samo u slučaju izrazitih terenskih, lokacijskih ili dr. ograničenja, dok će se u suprotnom uvek težiti primeni povoljnijih elemenata. Analogno s tim, prilikom usvajanja elemenata situacionog plana treba usvajati što je moguće komfornije elemente, ukoliko oni ne povlače sa sobom i veća investiciona ulaganja.

Minimalni radijus horizontalne krivine mora biti usvojen tako da obezbedi zahtevanu udobnost vožnje i bezbednost vozača i vozila, te isključi mogućnost od klizanja ili prevrtanja vozila u krivini [2]. Radijalno dejstvo centrifugalne sile teži da izbaci vozilo iz krivine (smer suprotan od centra krivine) pri čemu može doći do prevrtanja vozila oko spoljnje dodirne tačke točka i kolovoza ili iskliznuća vozila. Budući da su na preturanje osetljiva samo izuzetno uska i visoka vozila i to pri izrazito visokim vrednostima centrifugalne sile, pri analizi stabilnosti vozila analizira se slučaj bočnog isklizavanja [3].



Slika 1. Slike koje deluju na vozilo u krivini [3] [4]

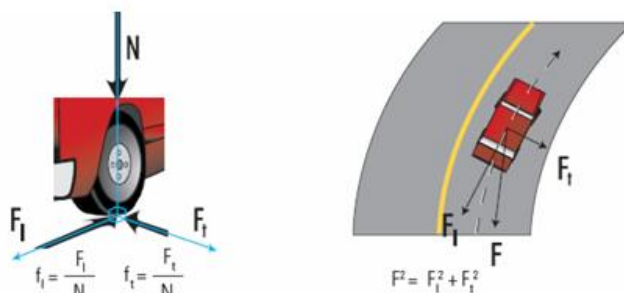
Prilikom kretanja vozila kroz krivinu, centrifugalnoj sili (C) koja teži da pomeri vozilo sa putanje suprotstavlja se sila trenja (T) koja deluje u ravni kolovoza sa smerom ka centru krivine. Uvođenjem graničnog stanja stabilnosti vozila ($T=C$) može se uspostaviti veza između dinamičkih, konstruktivnih i geometrijskih parametara puta. Izvođenjem kolovozne ploče sa uvećanim poprečnim nagibima savladava se jedan deo centrifugalne sile (C), te osnovna jednačina poprečne stabilnosti vozila glasi [3]:

$$\frac{v^2}{g \times R} = f_r + i_p, \text{ pri čemu je } R - \text{radijus horizontalne krivine}$$

f_r – koeficijent radijalnog trenja;

i_p – poprečni nagib kolovoza;

Deo centrifugalne sile (C) se poništava normalnom komponentom sile trenja - u vozilu se oseća kao bočni potisak čija maksimalna vrednost može iznositi $\max f_R$.

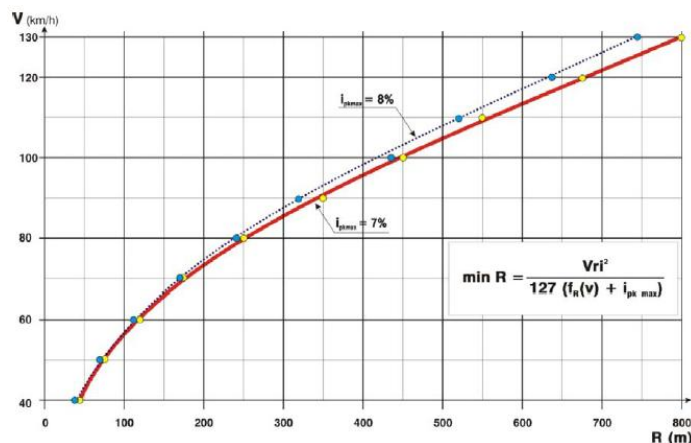


Slika 2. Uzdužno i poprečno trenje [5]

Uzdužno trenje odnosi se na trenje u pravcu kretanja vozila i utiče na ubrzanje i usporenje. Poprečno trenje odnosi se na raspoloživu otpornost na proklizavanje u pravcu normalnom na pravac kretanja vozila i omogućava promenu pravca kretanja [5].

Obrazac za proračun minimalnog radijusa (R_{min}) u zavisnosti od konstruktivnih parametara puta [3], glasi:

$$R \geq \frac{v^2}{127 \times (f_r + i_p)}$$



Slika 3. Radijusi horizontalnih krivina u funkciji brzine vožnje i vrednosti maksimalnog poprečnog nagiba [6]

Tabela 1. Minimalni radijusi kružnih krivina i minimalne dužine kružnih lukova prema važećem standardu [6]

Vrač (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R _{min} (m)	45	75	120	175	250	350	450	550	675	800
L _{k, min} (m)	22	28	33	39	44	50	56	61	67	72

Primena radijusa manjeg od minimalnog implicira upotrebu većih poprečnih nagiba kolovoza, usled kojih se mogu očekivati veći koeficijenti radialnog trenja i veća bočna ubrzanja što može izazvati u najmanju ruku neprijatnost pri vožnji [2]. Navedeni izrazi definišu teorijske uslove stabilnosti vozila u krivini koji važe pod pretpostavkom da se vozilo kreće projektovanom brzinom. Međutim u realnim uslovima eksploatacija puteva dolazi do odstupanja između računске i stvarne brzine kretanja iz razloga što se vozači u praksi vrlo često ne pridržavaju propisanog ograničenja te brzinu kretanja prilagođavaju subjektivnoj proceni uslova na putu. Pored odstupanja od projektovane brzine, narušavanje bezbednosti vozača najčešće nastaje i kao posledica naglog ulaska vozila u krivinu sa ostrim radijusom ili eventualnom neusklađenosti radijusa krivine i poprečnog nagiba.

3. BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA U KRITIČNIM KRIVINAMA

Horizontalne krivine predstavljaju neophodan i važan element svake saobraćajnice jer omogućavaju postepenu promenu smera kretanja vozila. Sa druge strane, prepoznate su kao kritičan segment svake deonice zbog ugrožene bezbednosti učesnika u saobraćaju. Šansa za nastanak saobraćajnih nezgoda usled napuštanja saobraćajne trake je 4 puta veća u područjima krivina u odnosu na pravce, pri čemu je najčešći uzrok nesvesnost vozača o postojanju predstojeće krivine ili netačna procena radijusa od strane vozača [7]. Saobraćajne nezgode se češće mogu očekivati u području horizontalnih krivina nego na pravcima pre svega zbog izvođenja zahtevnijih manevara skretanja koji se očekuju od vozača kao i zbog trenja koje nastaje između pneumatika vozila i kolovoza. Na ukupnu bezbednost vozila u pojedinačnoj krivini ne utiču samo geometrijske karakteristike krivine, već i geometrijske karakteristike segmenata puta koji se nalaze pre i posle predmetne krivine. Izrazito kritična situacija može nastati u slučaju neočekivane krivine malog radijusa nakon dugog pravca ili krivine u područjima puta sa smanjenom preglednosti [8] [9].

3.1. Učestalost nezgoda i karakteristike kritičnih krivina

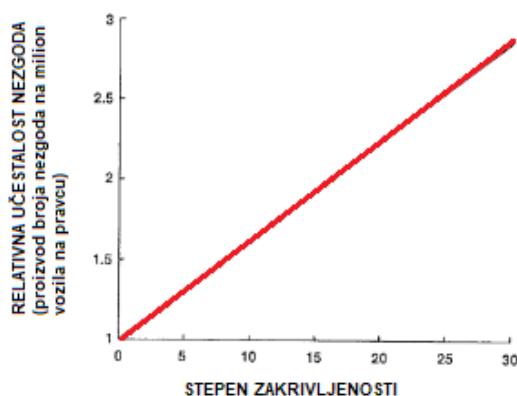
Horizontalne krivine kritičnog radijusa predstavljaju najopasnije lokacije na saobraćajnicama kao i značajan bezbednosni rizik zbog promene pravca trase puta, koja primorava vozače da odstupe od svoje prvobitne putanje. Neprilagođavanje ovoj promeni može dovesti do napuštanja saobraćajne trake, sudara sa vozilom iz suprotnog smera ili potpunog izletanja sa kolovoza, pri čemu obe situacije imaju visok potencijal za nastanak teških saobraćajnih nezgoda [10]. Sprovedeno je više istraživanja u različitim evropskim državama sa ciljem procene rizika od saobraćajnih nezgoda u horizontalnim krivinama, njihovu glavni zaključci su:

- Stopa nezgoda u krivinama je od 1,5 do 4 puta veća nego na pravolinijskim deonicama [11];
- Između 25% i 30% svih fatalnih nezgoda događa se upravo u krivinama [11];
- Prilbližno 60% svih nezgoda u horizontalnim krivinama čine nezgode sa jednim vozilom koje napušta kolovoz [11];
- Nezgode se najčešće javljaju na početku i na kraju krivine. Prema istraživanju Council-a (1998), u 62% fatalnih i 49% ostalih nezgoda u krivinama, prvi manevar koji je doveo do nezgode izvršen je upravo na ulazu ili izlazu iz krivine [11].



Slika 4. *Primena izrazito oštih i nepreglednih krivina [7]*

Rađena su mnoga istraživanja na temu uspostavljanja zavisnosti između nastanka saobraćajnih nezgoda i geometrijskih karakteristika postojećih krivina, pri čemu su najčešće uzimani u obzir radijus krivine ili stepen zakrivljenosti¹. Studija američke Federalne asocijacije za puteve (FHWA) pokazala je da postoji snažna povezanost između geometrije krivine i nastanka saobraćajnih nezgoda, pri čemu se kao dominantan faktor izdvojio stepen zakrivljenosti – direktno povezan s radijusom krivine. Na primer, u krivinama radijusa 500 ft (1 ft~0,305m) postoje 200% veće šanse za nastanak saobraćajne nezgode u odnosu na deo trase u pravcu koji im prethodi [12]. Šanse za nastanak nezgoda sa povećanjem radijusa linearno opadaju. Ostali parametri krivine kao što su npr. centralni ugao ili dužina krivine nisu prepoznati kao dominantni [8] [13].



Slika 5. *Saobraćajne nezgode i stepen zakrivljenosti, međuzavisnost [8]*

¹ Stepen zakrivljenosti je jedinica uvedena u SAD, predstavlja vrednost centralnog ugla nad tetivom od 20m i računa se kao $D=1146/R$ (gde je R radijus krivine u metrima)

Pored radijusa krivine i stepena zakrivljenosti, važno je napomenuti da će na nastanak saobraćajnih nezgoda u zonama horizontalnih krivina veliki uticaj imati dužina pravca koji prethodi krivini, te nagib deonice u podužnom smislu. Učestalost saobraćajnih nezgoda je dokazano veća u slučaju horizontalnih krivina koje slede nakon pravaca dužih od 200m, ukoliko je niveleta puta u padu od 5% ili više [14].

Kao faktori koji dodatno mogu uticati na stepen bezbednosti vozila u krivini takođe su se izdvojili [8]:

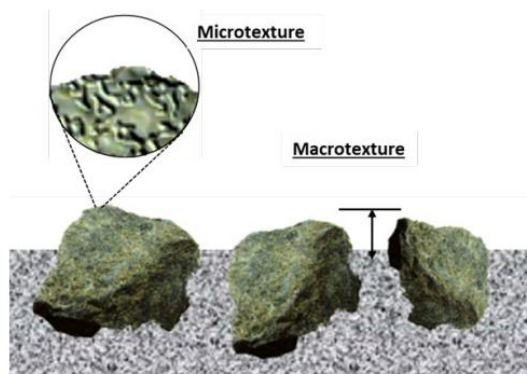
- Vitoperenje kolovoza u krivini – poprečni nagib kolovoza mora biti pravilno odabran i projektovan u zoni krivine;
- Širina berme preglednosti - prirodne ili veštačke prepreke u zoni berme;
- Primena prelaznih krivina u vidu klotoide doprinosi postepenom ulasku/izlasku iz kružne krivine i poboljšava sigurnost vozača;
- Stanje kolovoza – Neravni kolovozi ili kolovozni sa udarnim rupama mogu uticati na gubitak stabilnosti vozila u krivini i izletanja vozila iz krivine.

3.2. Uticaj stanja kolovoza na stabilnost vozila

Stanje kolovoza ima izuzetno značajan uticaj na stabilnost vozila, posebno u horizontalnim krivinama sa kritičnim radijusima. Određena stanja kolovoza mogu dodatno narušiti već smanjenu stabilnost uslovljenu geometrijom puta, zbog čega im je potrebno posvetiti posebnu pažnju. Neki od najznačajnijih faktora su:

- Trenje između pneumatika i kolovoza;
- Prisustvo vode, snega i leda;
- Oštećenje kolovoza (prisustvo rupe, pukotine, kolotrazi);
- Tekstura kolovoza;
- Zagađenost kolovoza (ulje, blato, prašina);
- Neadekvatno odvodnjavanje.

Trenje između kolovoza i pneumatika definiše se kao interakcija točka vozila i kolovozne površine. Ova interakcija omogućava vozačima da bezbedno obavljaju manevre upravljanja, kočenja i ubrzanja [15]. Tekstura kolovoza utiče na dve osnovne komponente sile trenja, adheziju i histerezis. Karakteristike površine kolovoza koje utiču na trenje uključuju mikrotekstu i makrotekstu date u okviru Slike 6 [15].



Slika 6. Karakteristike tekture površine kolovoza koje utiče na trenje [5]

Količina raspoloživog trenja na određenoj lokaciji mora biti jednaka ili veća od potrebne količine trenja kako bi vozilo moglo bezbedno da izvrši manevre i izbegne saobraćajnu nezgodu [15].

Prisustvo snega i leda menjaju uslove kontakta između pneumatika i kolovoza, smanjujuću kontaktno područje i otpornost na proklizavanje, čime se značajno povećava rizik od gubitka kontrole nad vozilom i nastanka saobraćajnih nezgoda. Led može značajno smanjiti koeficijent trenja dok sneg može izazvati još veće smanjenje u zavisnosti od njegove debljine [16]. Takođe, vrednosti koeficijenta trenja značajno opadaju u zimskim uslovima, sa približno 0,6 na suvom kolovozu na svega 0,18-0,3 u prisustvu snega i 0,06-0,17 na zaleđenoj površini [17].

4. MERE ZA POBOLJŠANJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Opšte metode za poboljšanje bezbednosti učesnika u saobraćaju u zoni horizontalnih krivina sa kritičnim radijusima moguće je podeliti u dve osnovne grupe – metode koje se zasnivaju na poboljšanju preglednosti i uočljivosti krivine (tzv. *Low-cost metode*) i metode za izmenu geometrije i/ili dodatno uređenje krivine koje podrazumevaju veće građevinske radove.

4.1. Low – cost metode za poboljšanje preglednosti i uočljivosti

Osnovna zamisao pri izvođenju jeste da se uz primenu jeftinijih metoda smanji mogućnost izletanja vozila iz krivine, kao i da se pri eventualnom napuštanju saobraćajne trake maksimalno smanji nastala šteta. Metode koje su prepoznate kao efikasne jesu dodatno iscrtavanje ivičnih ili središnjih linija, iscrtavanje znakova upozorenja na kolovozu, posebne profilisane oznake na kolovozu kao i dodatni saobraćajni znakovi u području krivine [7].

Prva preporučena metoda za poboljšanje bezbednosti saobraćaja u zoni krivine jeste dodatno iscrtavanje središnjih ili ivičnih linija, tamo gde one nisu prisutne. U slučaju izrazite nepreglednosti usled oštrog radijusa moguće je dupliranje središnje razdelne linije. Iscrtavanjem ivičnih linija kod puteva nižih kategorija dolazi do poboljšanja bezbednosti i preglednosti (čak i do 26% manje saobraćajnih nezgoda u odnosu na iste krivine bez ivičnih linija [18]). Iscrtavanje dodatnih znakova upozorenja na kolovoznim površinama se pokazala kao izrazito efikasna metoda u SAD (11-20% smanjenje prekoračenja brzine u području krivine) [7]. Optičke trake za smanjenje brzine mogu se koristiti za povećanje doživljaja brzine kod vozača čime ga primoravaju da prilagodi svoju brzinu – rastojanje između traka se linearno sužava [7].



Slika 7. Dodatni znaci upozorenja i optičke trake za usporavanje saobraćaja [7]

Profilisane oznake na kolovozu – zvučne trake su izdignute ili utisnute šare koje se izvode po središnjoj ili ivičnoj liniji. Prilikom prelaska vozila preko profilisane-zvučne oznake dolazi do nastanka buke i vibracije koji dodatno upozoravaju vozilo o napuštanju saobraćajne trake [18]. RPM markeri (eng. *Raised pavement marker*) značajno doprinose bezbednosti saobraćaja ukoliko se postave kao dodatak središnjoj razdelnoj liniji [7]. Posebno su značajni u noćnim uslovima vožnje jer omogućavaju bolju vidljivost granica saobraćajne trake zahvaljujući svojim retroreflektujućim osobinama [18].



Slika 8. Profilisane-zvučne oznake na kolovozu i RPM markeri za povećanje bezbednosti [7] [19]

Uvođenje dodatne saobraćajne signalizacije za obeležavanje opasnih krivina je takođe jedna od najčešće primenjivanih mera. Krivine sa kritičnim radiusima od vozača zahtevaju brzu procenu udaljenosti krivine, nagiba puta, stanja kolovoza i geometrijskih karakteristika krivine. Dodatno označavanje horizontalnih krivina tablama za usmeravanje kretanja smanjuje broj nezgoda od 33 do 49% [18].

4.2. Građevinske mere za poboljšanje bezbednosti u krivinama

Pod klasičnim građevinskim merama za poboljšanje bezbednosti podrazumevaju se radovi na uređenju saobraćajnice pri rekonstrukciji/rehabilitaciji puteva. Mere koje su dale značajne rezultate i prepoznate su kao efikasne jesu proširenje kolovoza u krivini, dodatno uređenje poprečnog nagiba, uređenje putnog pojasa, uvođenje prelaznica (tamo gde nisu prisutne), popravka ili posebna obrada kolovoznog zastora u zoni krivine.

Proširenje kolovoza u krivini izvodi se uvek sa unutrašnje strane krivine, u slučajevima radijusa krivina manjih od 200m. Po važećim standardima proširenje počinje 7,5m pre početka prelaznice, dok u području kružnog luka dostiže svoju maksimalnu vrednost i obrnuto. Središnja razdelna linija na kolovozu se iscrtava naknadno, na sredini ukupne širine proširenog kolovoza. Proširenje je moguće izostaviti u slučaju saobraćajnice koju za kretanje koriste samo putnička vozila ili u slučaju širine kolovoza preko 6m [3].



Slika 9. Proširenje kolovoza na mestima kritičnih krivina [20]

Poprečni nagib kolovoza (i_P) u načelu mora da bude jednostran i nagnut prema unutrašnjoj strani krivine kako bi se obezbedila što veća bezbednost saobraćaja [21]. Pri uređenju poprečnog nagiba u zoni horizontalnih krivina, postupak je jasan: Prvenstveno je neophodno udrediti maksimalnu (ograničenu) brzinu u zoni kružne krivine i uporediti je sa računskom koja je standardnom definisana za razmatranu saobraćajnicu. Ukoliko se postojeći poprečni nagib u zoni krivine ne podudara sa usvojenom brzinom, vrednost poprečnog nagiba je neophodno povećati u zavisnosti od radijusa i brzine, a najviše do maksimalne vrednosti 7 (izuzetno 8%) prema srpskim standardima [21] [22].

Odlike putnog pojasa neposredno uz vozne površine puta direktno utiču na prisutan stepen bezbednosti. Naime, prema FHWA, stepen saobraćajnih nezgoda je dokazano niži u slučaju puteva sa kosinama blažih nagiba ili u slučaju puteva sa manje fizičkih prepreka u zonama preglednosti [23]. Stoga se kao mere za uređenje putnog pojasa izdvajaju :

- Mera ukloňanja, premeštanja ili zaštite svih prepreka u zoni preglednosti puta;
- Minimalna zona preglednosti mora biti obezbeđena na svakom segmentu puta, a posebno u zonama krivina radijusa manjeg od 1000m. Minimalna zahtevana širina polja preglednosti (b_z) utvrđuje se na osnovu dužine zaustavne preglednosti (P_z) i minimalnog poluprečnika krivine (R_{min}), koji se prevashodno definišu u zavisnosti od računске brzine deonice (Vrač) [3];
- Ublažavanje kosina nagiba 1:3 ili strmijih na mestima gde je primećeno značajnija učestalost naglog izletanja vozila sa saobraćajnice; U suprotnom zadržati postojeći nagib kosine [23];

- U slučaju saobraćajnica sa većim projektovanim brzinama, krilni zidovi pločastih propusta mogu da remete zonu preglednosti, te stoga moraju biti uklonjeni ili zamenjeni odgovarajućim elementima, a nagib kosine po mogućstvu ublažen [23].

Površina kolovoza u zoni horizontalne krivine mora biti oblikovana u skladu sa zahtevanim poprečnim nagibima, tako da bude dodatno otporna na nastanak eventualnog klizanja. Odlomljeni delovi kolovoza se leve/desne strane puta su nepoželjni i ugrožavaju bezbednost saobraćaja, te moraju biti uklonjeni [23].

Jedna od savremenih tehnologija površinske obrade kolovoza (eng. *Microsurfacing*), podrazumeva nanošenje tankog sloja polimer-modifikovane bitumenske emulzije sa dodatkom agregata i aditiva na postojeću kolovoznu površinu. Ova metoda se primenjuje u cilju poboljšanja trenja između pneumatika i kolovoza što je neophodno na mestima horizontalnih krivina kritičnih radijusa.

Postoje četiri osnovna tipa primene microsurfacing-a [24]:

- Preko cele širine trake;
- eng. *Scratch coat* (tanak izravnavajući sloj);
- Popunjavanje kolotraga;
- Ručna primena.

Neposredno pre izvođenja microsurfacing-a, površina kolovoza mora se očistiti od stranih materijala, u nekim slučajevima potrebno je čak koristiti i pranje pod visokim pritiskom [24]. Putne oznake se uklanjaju ili obrađuju kako bi se obezbedila hrapava površina pre nanošenja microsurfacing-a, oznake na bazi boje zahtevaju prethodnu obradu, tragovi guma se uklanjaju, slivnici se mogu zaštititi papirom ili folijom dok svi spojevi, planirani i neplanirani radni prekidi, kao i ručni radovi moraju biti izvedeni na način koji obezbeđuje pravilne i ujednačene ivice [24].



Slika 10. Microsurface površina kolovoza [25] [26]

5. ZAKLJUČAK

U uslovima gde je zbog prostornih ograničenja i drugih faktora neophodno primeniti kritični radijus krivina, stabilnost vozila se smatra narušenom usled povećanog dejstva centrifugalne sile. Pored već narušene stabilnosti vozila, svaki dodatni negativan uticaj poput smanjenog trenja, prisustva vode, snega ili bilo kog tipa oštećenja, a naročito kolotraga koji mogu biti uzrok zadržavanja vode na kolovozu, može značajno povećati rizik od gubitka kontrole nad vozilom i nastanka nezgoda. Na osnovu celokupne analize, može se zaključiti da su horizontalne krivine sa kritičnim radijusima jedne od najrizičnijih elemenata saobraćajne infrastrukture.

Povećanje bezbednosti ovih osetljivih i kritičnih tačaka može se postići primenom kombinacije mera koje obuhvataju kako poboljšanje uočljivosti i signalizacije, tako i tehničke intervencije na geometriji puta i stanju kolovoza, odnosno niskobudžetne intervencije i složenije građevinske mere. Low-cost metode, poput dodatne signalizacije, oznaka na kolovozu i optičkih ili zvučnih traka, omogućavaju brzo i ekonomično povećanje

uočljivosti krivine i smanjenje rizika od nezgoda. Sa druge strane, građevinske mere, uključujući korekciju geometrije krivine, proširenje kolovoza, uređenje poprečnog nagiba i poboljšanje teksture površine kolovoza, obezbeđuju dugoročno unapređenje bezbednosti. Optimalni rezultati postižu se kombinovanom primenom obe grupe mera, u zavisnosti od karakteristika puta i raspoloživih resursa. Integriranim pristupom koji podrazumeva usklađivanje geometrijskih elemenata puta i stanja kolovoza, obezbeđuje se optimalan nivo bezbednosti u svim uslovima eksploatacije.

U skladu sa navedenim, može se zaključiti da pravovremeno prepoznavanje rizičnih lokacija i primena adekvatnih mera, predstavlja ključni korak ka značajnom smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i unapređenju ukupne bezbednosti saobraćaja, posebno na deonicama sa povećanim intenzitetom saobraćaja.

Zahvala

Istraživanje je sprovedeno u okviru projekta „Unapređenje nastavnih i naučnoistraživačkih kapaciteta kroz primenu savremenih tehnologija u oblasti građevinarstva, geodezije i upravljanja rizikom od katastrofalnih događaja i požara”, koji je razvijen na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, Srbija.

Literatura

- [1] Vukoje, B., Cvitanić D., Breški D. (2012). Operativne brzine u krivinama u ovisnosti o geometrijskim karakteristikama trase. Treći BiH kongres o cestama, Sarajevo.
- [2] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 2011. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington DC.
- [3] Uzelac, Đ. 2015. Putevi i gradske saobraćajnice. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [4] Khawaja, B. Q., Muhmood, A. A., Alzebaree, R., Mohammedameen, A. (2022). The Influence of Horizontal Curve on Traffic Crashes: A Review. 4th International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE2022), Dohuk, Iraq.
- [5] European Road Safety Observatory (2006). Roads. (on-line) available at: www.erso.eu (21.04.2026)
- [6] Maletin, M., Vojo, A., Katanić, J. 2008. Tehnička uputstva za projektovanje vangradskih puteva (PP 7/07): „Trasa“. Beograd: Građevinski fakultet u Beogradu.
- [7] Federal Highway Administration (FHWA). 2016. Low-Cost Treatments for Horizontal Curve Safety. FHWA Safety Program. Washington D.C.
- [8] Transportation Research Board. 1987. Designing Safer Roads. Special Report 214. Washington DC: Transportation Research Board.
- [9] Khan, G.; Bill, A. R.; Chitturi, M.; Noyce, D. A. 2012. Horizontal Curves, Signs, and Safety, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2279: 124–131.
- [10] Gooch, J. P.; Gayah, V. V.; Donnell, E. T. 2016. Quantifying the safety effects of horizontal curves on two-way, two-lane rural roads, Accident Analysis and Prevention 92: 71–81.
- [11] Zegeer, C. V.; Twomey, J. M.; Heckman, M. L.; Hayward, J. C. 1991. Safety Effectiveness of Highway Design Features, Volume II: Alignment. Federal Highway Administration, McLean, VA.
- [12] Zegeer, C.; Stewart, R.; Reinfurt, D.; Council, F.; Neuman, T.; Hamilton, E.; Miller, T.; Hunter, W. 1991. Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves. Federal Highway Administration, McLean, VA.
- [13] Đajić, G. 2007. Odnos ključnih elemenata putne geometrije i bezbednosti puta, Rehabilitacija i rekonstrukcija puteva, Zlatibor, Srbija.
- [14] Hallmark, S. L.; McDonald, T. J. 2007. Low-Cost Strategies to Reduce Speed and Crashes on Curves. Iowa Department of Transportation, USA.
- [15] Federal Highway Administration. 2023. Pavement Friction for Road Safety: Primer on Friction Measurement and Management Methods (FHWA-SA-23-007). U.S. Department of Transportation, USA.
- [16] Salimi, S.; Nassiri, S.; Bayat, A.; Halliday, D. 2016. Lateral coefficient of friction for characterizing winter road conditions, Canadian Journal of Civil Engineering 43(1)

- [17] Jiao, W.; Sha, A.; Liu, Z.; Jiang, W.; Hu, L.; Qin, W. 2023. Analytic investigations of snow melting efficiency and temperature field of thermal conductive asphalt concrete combined with electrical-thermal system, *Journal of Cleaner Production* 399: 136622.
- [18] Agencija za bezbednost saobraćaja, Republika Srbija. 2016. Priručnik za unapređenje bezbednosti puteva sa predlogom mera i mogućnostima lokalnog upravljača puta i zemljišta za smanjenje uticaja puta i putne okoline na nastanak saobraćajnih nezgoda. Beograd, Srbija.
- [19] Australian Parking Barriers. Raised Pavement Marker (RPM). (on-line) available at: <https://www.australianparkingbarriers.com.au/product/raised-pavement-marker-rpm/> (22.04.2026)
- [20] Asad, F. H. A. 2015. Highway Engineering – Widening on Horizontal Curves (Lecture 04), University of Kufa, Iraq. (on-line) available at: <https://pdfcoffee.com/download/lec-04-highway-engineering-curve-widening-pdf-free.html> (22.04.2026)
- [21] JP Putevi Srbije. 2012. Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji: Projektni elementi puta. Beograd, Srbija.
- [22] New York State Department of Transportation. 2025. Highway Design Manual: Chapter 7 – Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation (1R, 2R and 3R). New York State Department of Transportation, New York, USA.
- [23] Arkansas State Highway and Transportation Department. 1989. Geometric design criteria for non-freeway Resurfacing, Restoration and Rehabilitation Projects. Arkansas, USA.
- [24] Gransberg, D. D. 2010. Microsurfacing: A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 411. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [25] Tampa Asphalt Contractor. Asphalt Microsurfacing. (on-line) available at: <https://tampafalcontractor.com/asphalt-microsurfacing/> (22.04.2026).
- [26] Ergon Asphalt & Emulsions. Improve Road Quality & Performance with Micro Surfacing. (on-line) available at: <https://ergonasphalt.com/successStories/improve-road-quality-with-micro-surfacing> (22.04.2026).