

Određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju u funkciji sigurnosti prometa

Kalin, Artur

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:543640>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-11**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Artur Kalin

ODREĐIVANJE GRANIČNIH BRZINA KRETANJA VOZILA U ZAVOJU U
FUNKCIJI SIGURNOSTI PROMETA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ODREĐIVANJE GRANIČNIH BRZINA KRETANJA VOZILA U ZAVOJU U
FUNKCIJI SIGURNOSTI PROMETA
DETERMING SPEED LIMITS OF MOVING VEHICLE IN THE CONTEXT OF
TRAFFIC SAFTEY

Mentor: doc. dr. sc. Rajko Horvat

Student: Artur Kalin

JMBAG:0135241205

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

Kretanje vozila u cestovnom prometu uvjetovano je prometnim i oblikovnim elementima trase ceste. Osim pravaca u tlocrtne elemente ceste pripadaju kružni lukovi i prijelaznice pri čemu kružni lukovi i prijelaznice čine tlocrtne zavoje. U odnosu na pravce, prilikom projektiranja ili rekonstrukcije tlocrtnih zavoja potrebno je primjenjivati prometno-oblikovne elementi koji prije svega omogućavaju postupnu promjenu radijalnog ubrzanja te zaustavnu i pretjecanju preglednost. Određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju stoga je značajan element sigurnosti cestovnog prometa. Kretanjem vozila u zavoju brzinom koja je veća od granične brzine koja je određena projektnim zadatkom, podrazumijeva i mogućnost zanošenja-klizanja ili prevrtanja vozila. Kako ne bi došlo do navedenog prometno-tehnički elementi ceste u zavoju potrebno je uskladiti sa mjerodavnim vozilom, njegovim tehničkim karakteristikama te uvjetima okoline koji prevladavaju na tom cijelu ceste.

KLJUČNE RIJEČI: kretanje vozila u zavoju, granične brzine, sigurnost

SUMMARY

The movement of vehicles in road traffic is conditioned by the traffic and design elements of the road route. In addition to the directions, the circular arches and crossings belong to the road elements, whereby the circular arches and crossings form the ground turns. In relation to the directions, when designing or reconstructing the bends, it is necessary to apply traffic-shaped elements, which first of all enable a gradual change of radial acceleration and stop and overtake transparency. Determining the cornering speed of vehicles in a turn is therefore a significant element of road safety. Moving the vehicle in a turn at a speed greater than the speed limit determined by the project task also implies the possibility of drifting-sliding or overturning the vehicle. In order not to come to the fore, the traffic-technical elements of the bend in the bend must be harmonized with the relevant vehicle, its technical characteristics and environmental conditions prevailing on that whole road.

KEY WORDS: movement of vehicle in a bend, speed limits, safeness

SADRŽAJ

1. UVOD	7
2. PROMETNO-TEHNIČKI ELEMENTI CESTE S OSNOVA SIGURNOSTI PROMETA	9
2.1 Prometni trak	9
2.2 Rubni trak	10
2.3. Bankina	11
2.4 Biciklistička staza	12
2.5. Pješačka staza	12
2.6. Razdjelni trak	12
2.7. Trak za sporu vožnju	13
2.8. Projektiranje zavoja	14
3. ANALIZA ZA PROMETNE NESREĆE I NJIHOVIH POSLJEDICA PREMA ZNAČAJKAMA CESTE OD 2014.-2018.	15
3.1. Prometne nesreće od 2014.-2018. u Hrvatskoj	15
3.2. Prometne nesreće prema značajkama ceste od 2014. – 2018. u Hrvatskoj	16
3.2.1. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2014. godini	17
3.2.2. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2015. godini	18
3.2.3. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2016. godini	19
3.2.4. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2017. godini	20
3.2.5. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2018. godini	21
3.3. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste od 2014. do 2018. godine u Hrvatskoj	21
3.3.1. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2014. godini	22

3.3.2. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2015. godini	23
3.3.3. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2016. godini	24
3.3.4. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2017. godini	25
3.3.5. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2018. godini	26
3.4. Cesta kao čimbenik sigurnosti i uzročnik nesigurnosti	27
4. ELEMENTI PROJEKTIRANJA I ODREĐIVANJE GRANIČNIH BRZINA U ZAVOJU PREMA KATEGORIJI I ZNAČAJKAMA CESTE	29
4.1. Prijelazna krivulja(klotoida)	29
4.2. Preglednost u zavojima	32
4.2.1. Horizontalna preglednost	33
4.2.2. Zaustavna preglednost	33
4.3. Proširenje kolnika u zavoju	34
4.4. Nagibi	36
4.4.1. Poprečni nagib	36
4.4.2. Uzdužni nagib	36
4.5. Polumjeri zavoja.....	37
4.6. Projektna brzina	38
4.7. Računska brzina	39
4.8. Kružni luk	41
4.8.1. Određivanje polumjera kružnog luka	41
4.8.2. Poprečni nagib kolnika u zavoju	43
4.9. Elementi iskoločenja zavoja	44

5. NAČINI ODREĐIVANJA GRANIČNIH BRZINA KRETANJA VOZILA U	46
ZAVOJU	46
5.1. Stabilnost vozila u zavoju	47
5.1.1. Stabilnost vozila na prevrtanje	48
5.1.2. Stabilnost vozila na prevrtanje	51
5.2. Metoda određivanja graničnih brzina	53
5.2.1. Granično-minimalna brzina kretanja vozila s obzirom na prevrtanje i zanošenje prema unutrašnjosti krivine	53
5.2.2. Kretanje vozila u krivini s poprečnim nagibom kolnika s obzirom na zanošenje i prevrtanje	54
6. ZAKLJUČAK	55
LITERATURA	56
POPIS TABLICA	57
POPIS SLIKA	57
POPIS GRAFIKONA	58

1.UVOD

Određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju značajan je element sigurnosti cestovnog prometa. Kretanjem vozila u zavoju brzinom koja je veća od granične, podrazumijeva i mogućnost zanošenja-klizanja ili prevrtanja vozila. Kako ne bi došlo do navedenog, prometno-tehnički elementi ceste u zavoju potrebno je uskladiti sa mjerodavnim vozilom, njegovim tehničkim karakteristikama te uvjetima okoline koji prevladavaju na tom cijelu ceste. Prema statističkim podacima broj prometnih nesreća koje se događaju u zavoju u visokom je postotku, s toga se projektiranjem ceste u zavoju nastoji osigurati što sigurnija vožnja. Važno je naglasiti da se u praktičnoj primjeni planiranja, projektiranja, izgradnje i održavanja cesta uglavnom primjenjuju minimalni elementi poprečnog i uzdužnog nagiba ceste. Takav pristup nažalost može utjecati na sigurnost prometa a posebno na dionicama horizontalne zakrivljenosti ceste odnosno zavojima. Stoga je važno da se već u fazi projektiranja cesta usmjeri pozornost na sve elemente poprečnog ali i uzdužnog profila ceste u zavoju kako bi se postigla optimalna sigurnost. Naslov završnog rada je: Određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju u funkciji sigurnosti prometa. Rad se sastoji od šest cjelina:

1. Uvod
2. Prometno-tehnički elementi ceste
3. Analiza za prometne nesreće i njihovih posljedica prema značajkama ceste od 2014.-2018.
4. Elementi projektiranja i određivanje graničnih brzina u zavoju prema kategoriji i značajkama ceste
5. Načini određivanja graničnih brzina kretanja vozila u zavoju
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisan je način primjene prometno-tehnički elemenata ceste prema njezinom značenju i kategoriji te ostalim elementima značajnim za njezina prometno – eksploatacijske značajke.

U trećem poglavlju može se uvidjeti koliko zapravo je visok postotak nesreća te koliko se njih dešava u zavoju.

U četvrtom poglavlju obrazloženi su elementi potrebni za projektiranje ceste u zavoju, odnosno čimbenike koji utječu na sigurnost vožnje u zavoju i onih koji su bitni za određivanje granične brzine u zavoju.

U petom poglavlju obrazložen je način određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju.

U zaključku je na sustavan, koncizan i jezgrovit način izložena sinteza svih relevantnih spoznaja, informacija, stavova, činjenica, teorija i zakona koji su opširnije elaborirani u analitičkom dijelu rada.

2. PROMETNO-TEHNIČKI ELEMENTI CESTE S OSNOVA SIGURNOSTI PROMETA

Cestovni promet zbog fleksibilnosti i eksploatacijskih obilježja pripada u najzastupljeniju tercijarnu gospodarsku djelatnost u svim državama svijeta. Obilježja koja karakteriziraju suvremeni cestovni prometa su učestalost, redovitost, linijska ili prijevozna točnost, udobnost, prijevozna brzina, isplativost te sigurnost. Zbog navedenog cesta kao osnova na kojoj se odvija promet, mora biti projektirana, izgrađena, opremljena, održavana te se treba štiti kako bi bila se primjerena odgovarala ju svojoj namjeni i zahtjevima sigurnosti prometa. Poprečni presjek cesta određuje se prema prometnom opterećenju i kategoriji ceste a što je uvjetovano kategorijom ceste, eksploatacijskim značajkama i terenskim uvjetima. Kolnik je dio gornjeg ustroja ceste koji je namijenjen isključivo kretanju vozila. Kolnici s jednim prometnim trakom rijetko se primjenjuju, uglavnom na poljodjelskim cestama i cestama u teškom planinskom terenu. Najčešće se primjenjuju kolnici s dvaju trakova, a s obzirom na sigurnost prometa pogodniji su kolnici s četiri traka, s odvojenim smjerovima [1].

2.1 Prometni trak

Prometni trak je obilježen ili neobilježen uzdužni dio kolnika čija je širina dovoljna za nesmetan promet jednog reda motornih vozila u jednom smjeru. Širina prometnih trakova na jednosmjernim kolnicima na više tračnim cestama (s četiri ili više prometnih trakova), prema našim propisima o tehničkim normativima i osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa, predložena je u tablici 1. a ona s dvotračnim cestama u tablici 2. [5,1].

Tablica 1. Širina prometnih trakova na jednotračnim cestama

Računska brzina V_r(km/h)	Teren	Širina prometnog traka(m)
100-120	I i II	3,75
80-100	III i IV	3,50

Izvor: [1]

Pri čemu je:

- I nizinski,
- II brežuljkasti,
- III brdoviti
- IV planinski teren.

Tablica 2. Širina prometnih trakova na dvotračnim cestama

Računska brzina Vr(km/h)	1	2	3	4	5
100	I i II 3,50	I 3,50			
80	III 3,25	II 3,25	I 3,25		
70	IV 3,25	III 3,00	II 3,00	I 3,00	
60		IV 3,00	III 3,00	II 3,00	I 3,00
50			IV 3,00	III 2,75	II 2,75
40				IV 2,75	III 2,75

Izvor: [1]

2.2 Rubni trak

Rubni trakovi su učvršćeni dio ceste koji se nalazi između kolnika i bankine ili između kolnika i staza za bicikle, mopede ili pješake [9]. Rubnim trakovima jasno se ističe prometna površina ceste, a time se postiže bolje iskorištenje njene površine. Njima se povećava sigurnost prometa zbog pogodnijega psihološkog djelovanja na vozača. Njihova širina ovisi o širini prometnog traka kako je pokazano u tablici 3.

Tablica 3. Širina rubnih trakova

Širina prometnog traka[m]	Širina rubnog traka[m]
3,75	0,50
3,50	0,35
3,0-3,25	0,30
2,75	0,20

Izvor: [1]

Širina rubnog traka između prometnog(voznog) traka i zaustavnog traka iznosi 0,20 m. Namjerava li se u kraćem vremenu proširiti ili pojačati konstrukciju kolnika, umjesto rubnih trakova postavljaju se rubne crte. Širina rubnih crta ovisi također o računskoj brzini, pa je $V \geq 100$ km/h širina 15 cm, a pri $V \geq 60$ do 100 km/h 10 cm [1].

2.3. Bankina

Bankina je zemljani pojas koji se nalazi uz konstrukciju kolnika, a ime višestruku ulogu. Bankine služe za postavljanje prometnih znakova, a za kretanje pješaka, a u iznimnim slučajevima za zaustavljanje vozila u kvaru. Minimalna širina bankine odriješena je razmakom unutarnjeg ruba ograde od ruba kolnika i konstrukcijskom širinom zaštitne ograde od ruba kolnika i konstrukcijskom širinom zaštitne ograde. Ako se zaštitna ograda ne predviđa, širina se bankine dobije prema tablici 4.

Tablica 4. Širina bankine

Širina prometnog traka[m]	Širina bankine[m]
3,75	1,50
3,50	1,50
3,25	1,20
3,00	1,00
2,75	1,00

Izvor: [1]

Širina bankine uz zaustavni trak iznosi 1,00 m [1].

2.4 Biciklistička staza

Biciklistička staza je prometnica namijenjena za promet bicikala, izgrađena odvojeno od kolnika i označena odgovarajućom prometnom signalizacijom [12]. Na cestama za mješoviti promet gdje je intenzivan biciklistički promet potrebno je predvidjeti biciklističke staze. Najjednostavnije je smjestiti biciklističku stazu neposredno uz kolnik, ali je bolje rješenje ako je ona odvojena od kolnika zaštitnim trakom i nadvišena. Prometna širina koja se predviđa za jedan red biciklista je 1,0 m, a za dva reda biciklista $2 \times 0,90$, tj. 1,80 m.

Udaljenost osi biciklističke staze od stalne zapreke mora biti 0,80 m, pod pomične zapreke 1,0 m. Najveći uzdužni nagib biciklističke staze je 5% (iznimno 8%), a najmanji horizontalni polumjer zavoja je $R = 15$ m. Prijelome nivelete treba zaobliti polumjerom $R = 200$ m pri konkavnom prijelomu, a pri konveksnom s $R = 100$ m.

Biciklističke staze mogu se iznimno odvojiti i na samom kolniku s pomoću bijele razdvojne crte širine 20 cm. Na toj izvedbenoj površini biciklisti imaju prednost, ali mogu se njome koristiti i druga vozila [1].

2.5. Pješačka staza

Pješačka staza je uređena prometna površina u prvom redu namijenjena za kretanje pješaka, u kojoj nije dozvoljeno kretanje motornih vozila, osim vozila s posebnom dozvolom [8]. Pješačke staze potrebno je planirati u naseljima i na prilaznim cestama izvan naselja. Izvode se najmanje dva pješačka traka širine $2 \times 0,75$ m (prema našim propisima ta širina je 0,80 m).

Ako je na cesti uz stazu za pješaka predviđena i staza za bicikliste, staza za pješake je nadvišena, a biciklistička u razini kolnika. Pogodnije je rješenje da i pješačka i biciklistička staza budu nadvišene u odnosu prema kolniku i međusobno odvojene zaštitnim trakovima (slika 1.) [1].

2.6. Razdjelni trak

Razdjelni trak omogućuje fizičko razdvajanje usporednih kolnika. Razdjelni trakovi u nas se obvezno grade na autocestama i cestama 1. razreda s četiri ili više prometnih trakova.

Oni služe za smještaj vertikalne signalizacije, za zaštitne ograde i sl. [9]. Razdjelni trak primjenjuje se na cestama većeg značenja kako bih se razdijelio kolnik po smjerovima vožnje.

Oni se sprečavaju skretanje vozila na kolnik suprotnog smjera i zasljepljivanje vozača svjetlima vozila iz suprotnog smjera. Ako je širina razdjelnog traka manja od 1,5 m, treba ga izvesti nadvišenog s odgovarajućim rubnjakom. Pri širini od 1,5 m i više razdjelni trak može se izvesti u istoj razini. U sredini razdjelnog traka postavljaju se dvostrane elastične ograde [1].

Tablica 5. Širina razdjelnog traka

Vrsta ceste	Teran	Širina razdjelnog traka[m]
Autocesta	1-2	4,0
Autocesta	3-4	3,0(2,0)
Cesta 1. razreda	1-4	3,0(2,0)

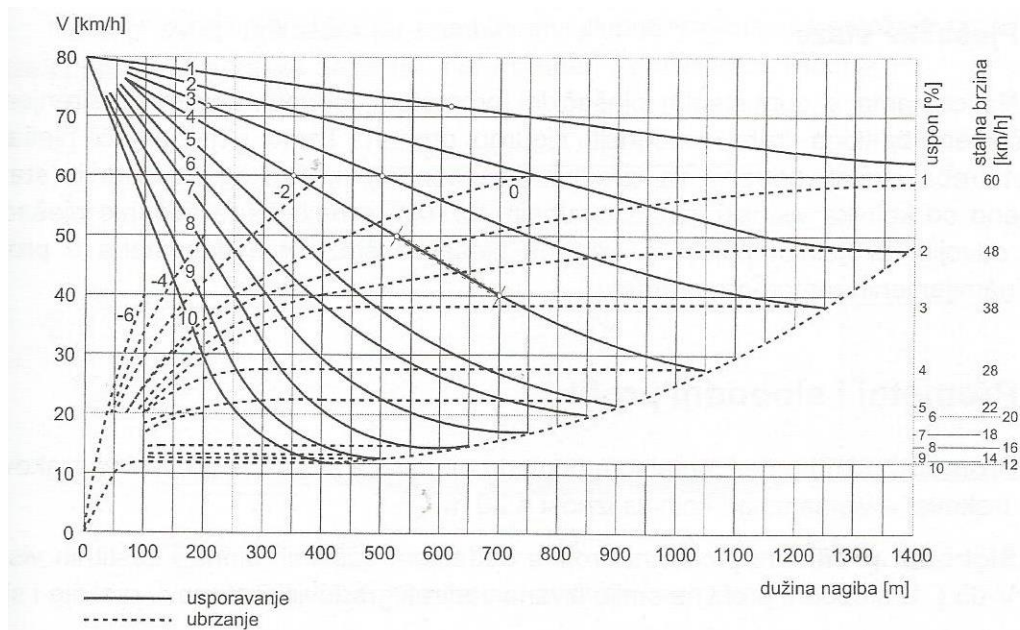
Izvor: [1]

2.7. Trak za sporu vožnju

Prometna traka za spora vozila je obilježeni uzdužni dio kolnika namijenjen za vozila koja sporom vožnjom (npr. na uzbrdici) smanjuju protočnost prometa [10]. Trak za sporu vožnju primjenjuje se na većim usponima gdje teža vozila gube na brzini i ometaju ostali promet. Zbog smanjenja brzine tih vozila, ako nije onemogućeno pretjecanje, moraju i ostala vozila usporiti brzinu, čime se smanjuje sigurnost i propusna moć ceste. Stoga uz kolnik na području većih ili duljih uspona na autocestama i cestama 1. i 2. razreda izvode posebni trakovi za sporu vožnju. Širina traka je 3,0 do 3,25 metara, a poprečni nagib je jednak kao i na prometnim trakovima.

Kritična brzina za teretna vozila iznosi približno 50 km/h i početak odnosno završetak traka za spora vozila mora biti na mjestu dosezanja te kritične brzine.

Za razliku od klasičnog izmicanja sporih vozila na dodatni desni trak, u suvremenim rješenjima oni zadržavaju svoju putanju, a brža vozila ih uobičajeno pretječu s lijeve strane [2].



Slika 2.1. Odnos brzine sporoga vozila i duljine uzdužnog nagiba
Izvor: [2]

2.8. Projektiranje zavoja

U zavojima postoje drugačiji zahtjevi za sigurnost prometa te projektiranje samog zavoja nego u pravcu. Posebno utječu na sigurnost prometa ne smije se dozvoliti neposredni nizanje zavoja velikih i malih polumjera. Pri određivanju polumjera zavoja obično se uzima u proračun mogućnost zanošenja vozila.

Pri vožnji kroz zavoj stražnji kotači slijede trag prednjih kotača te opisuju luk manjeg polumjera, stoga je u zavoju potrebno proširiti kolnik. Pri projektiranju čvorišta potrebno je predvidjeti što manje uzdužne nagibe da bi se omogućilo lakše zaustavljanje i pokretanje vozila te bolja vidljivost [1].

3. ANALIZA ZA PROMETNE NESREĆE I NJIHOVIH POSLJEDICA PREMA ZNAČAJKAMA CESTE OD 2014.-2018.

Na cestama u Republici Hrvatskoj u posljednjih deset godina prosječno dogodilo 39 294 prometnih nesreća. U 31,8 posto nesreća osobe su zadobile ozljede. Godišnje je u prometu prosječno stradavalo 17 456 osoba. Od tog broja 79,6 posto prošlo je s lakšim tjelesnim ozljedama. Teške tjelesne ozljede zadobilo je 18,0 posto osoba, dok je 2,4 posto osoba godišnje pogibalo, što je prosječno godišnje 411 osoba. S obzirom na broj radnog osoblja MUP-a možemo pretpostaviti da je manjak radnog osoblja, te kako bih povećali sigurnost prometa potrebno je više osposobljenih djelatnika MUP-a te je to jedna od prvih stavki koja bih se trebala ispuniti.

3.1. Prometne nesreće od 2014.-2018. u Hrvatskoj

U prometnim nesrećama najviše stradavaju osobe u dobi između 10 i 25 godina, kako u cijelom svijetu pa i u Hrvatskoj. Najviše su ugrožena djeca putnici u vozilu, pješaci te vozači bicikla, mopeda, motocikla. Od ukupnog broja teško ozlijeđenih osoba u prometnim nesrećama, njih oko 15% zadobivaju ozljede koje imaju za posljedicu trajni invaliditet, što je oko 100 osoba godišnje u Hrvatskoj.

Tablica 6. Prometne nesreće od 2014.-2018. godine u Hrvatskoj

Godina	Prometne nesreće	Prometne nesreće s nastradalim osobama	Udio prometnih nesreća s nastradalima u ukupnom broju	Poginule osobe	Ozlijeđene osobe	Udio poginulih osoba u nastradalima
2014	31432	10607	33,7	308	14222	2,1
2015	32571	11038	33,9	348	15024	2,3
2016	32757	10779	32,9	307	14596	2,1
2017	34368	10939	31,8	331	14608	2,2
2018	33400	10450	31,3	297	13989	2,1

Izvor: [11]

Da bi se stanje sigurnosti u cestovnom prometu podignulo na višu razinu, društvo mora uložiti znatno više napora u poboljšanje prometne infrastrukture i razvitak prometne kulture. Velik dio tog napora pripada Ministarstvu unutarnjih poslova, odnosno prometnoj policiji, koja svojim aktivnostima utječe na povećanje prometne discipline svih sudionika. Od tri bitna čimbenika za sigurnost prometa (sudionici, vozila i ceste), prometna kultura svih sudionika, osobito vozača, najbrže može utjecati na smanjenje tragičnih posljedica. Ne treba zanemariti činjenicu kako je za promicanje prometne kulture sudionika potrebno uložiti i najmanje financijskih sredstava u usporedbi s druga dva čimbenika [11].

3.2. Prometne nesreće prema značajkama ceste od 2014. – 2018. u Hrvatskoj

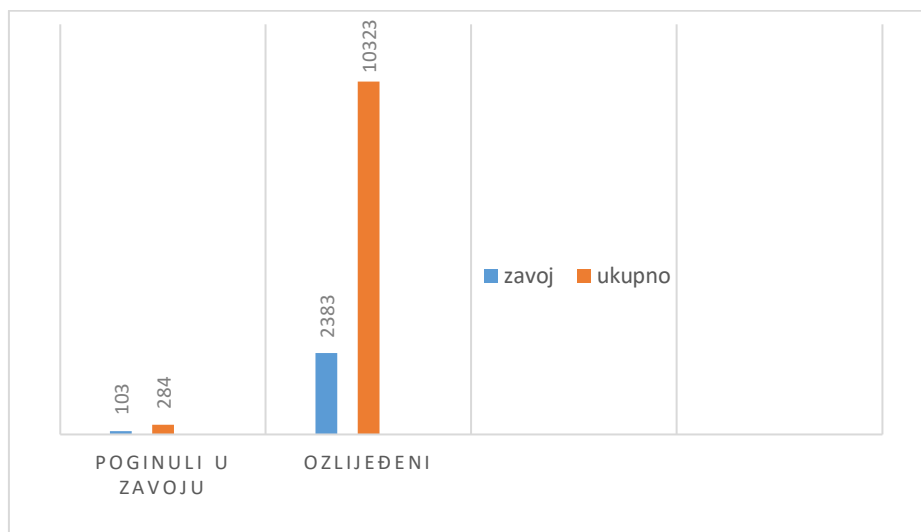
Broj poginulih osoba na hrvatskim cestama svake godine se nastoji smanjiti, međutim broj poginulih je i dalje vrlo visok. Sigurnost cestovnog prometa nastoji se najviše poboljšati zakonskim i regulativnim metodama.

Tablica 7. Broj poginulih na hrvatskim cestama

Godina	Poginuli
2014	284
2015	371
2016	279
2017	307
2018	297

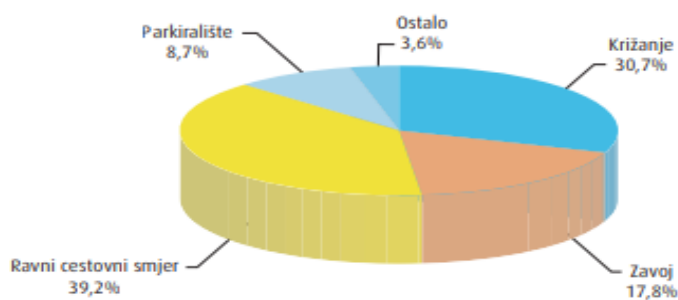
Izvor: [11]

3.2.1. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2014. godini



Grafikon 1. Prometne nesreće u zavoju u 2014.

Izvor: [11]



Slika 3.1. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2014. godini

Izvor: [11]

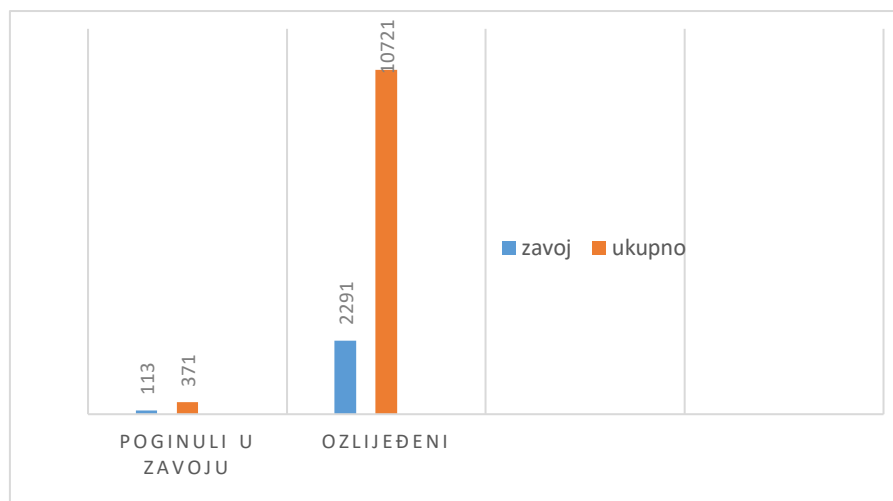
Prema podacima iz grafikona 1 moguće je zaključiti:

Poginuli u zavoju - 103/284 (36,3%)

Ozlijeđeni u zavoju - 2383/10323 (23,1%)

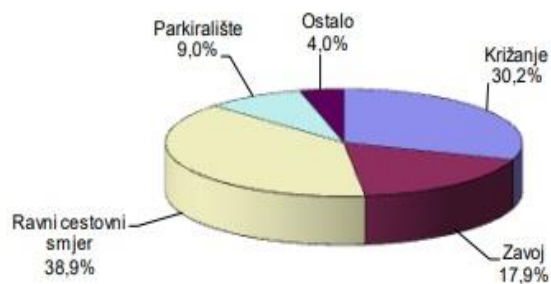
Ukupno - 5596/31432 (17,8%)

3.2.2. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2015. godini



Grafikon 2. Prometne nesreće u zavoju u 2015.

Izvor: [11]



Slika 3.2. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2015. godini

Izvor: [11]

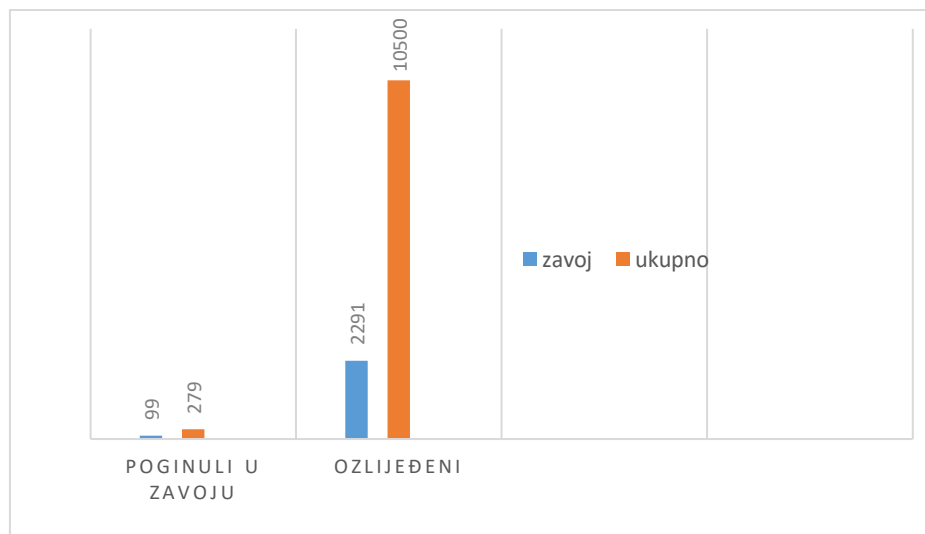
Prema podacima iz grafikona 2 moguće je zaključiti:

Poginuli u zavoju - 113/317(35,6%)

Ozlijeđeni u zavoju - 2383/10721(22,2%)

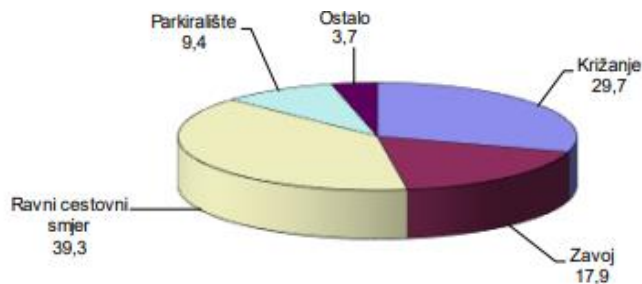
Ukupno - 5823/32571(17,9%)

3.2.3. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2016. godini



Grafikon 3. Prometne nesreće u zavoju u 2016.

Izvor: [11]



Slika 3.3. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2016. godini

Izvor: [11]

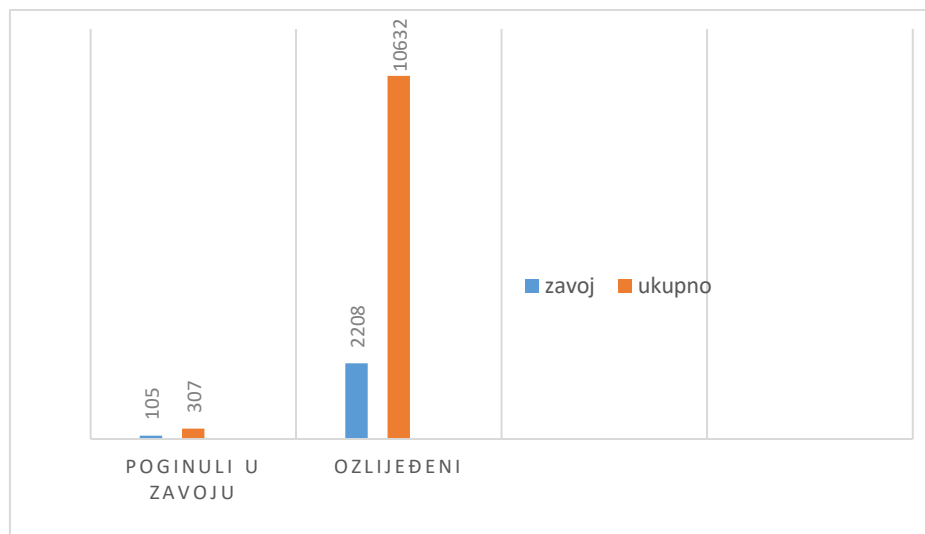
Prema podacima iz grafikona 3 moguće je zaključiti:

Poginuli u zavoju - 99/279(35,5%)

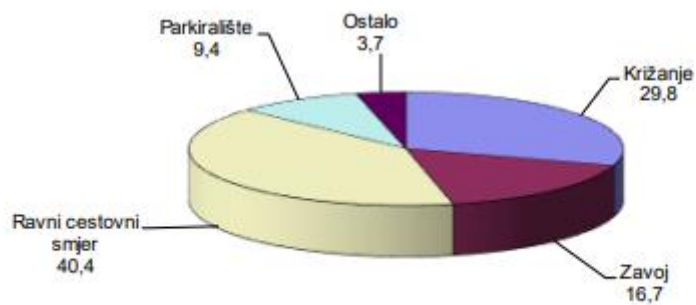
Ozlijeđeni u zavoju - 2291/10500(21,8%)

Ukupno - 5849/32757(17,9%)

3.2.4. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2017. godini



Grafikon 4. Prometne nesreće u zavoju u 2017.
Izvor: [11]



Slika 3.4. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2017. godini
Izvor: [11]

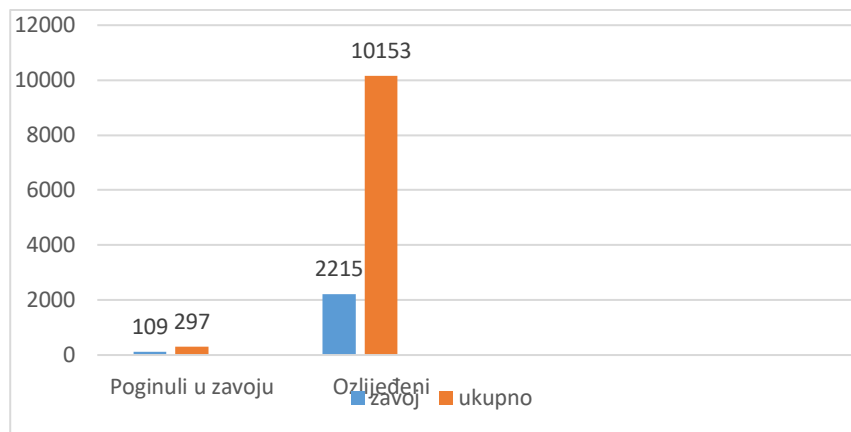
Prema podacima iz grafikona 4 moguće je zaključiti:

Poginuli u zavoju - 105/307(34,2%)

Ozlijeđeni u zavoju - 2208/10632(20,8%)

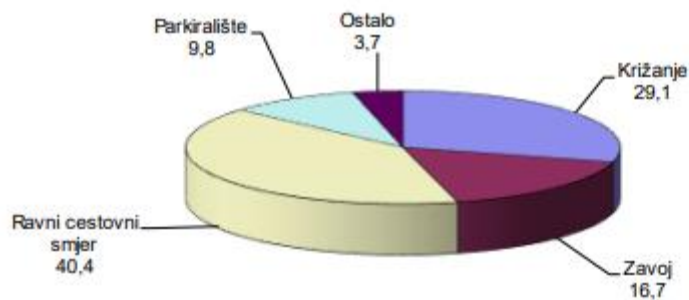
Ukupno - 5732/34368(16,7%)

3.2.5. Prometne nesreće prema značajkama ceste u 2018. godini



Grafikon 5. Prometne nesreće u zavoju u 2018.

Izvor: [11]



Slika 3.5. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2018. godini

Izvor: [11]

Prema podacima iz grafikona 5 moguće je zaključiti:

Poginuli u zavoju - 109/297(36,7%)

Ozlijeđeni u zavoju - 2208/10632(20,8%)

Ukupno - 5571/33400(16,7%)

3.3. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste od 2014. do 2018. godine u Hrvatskoj

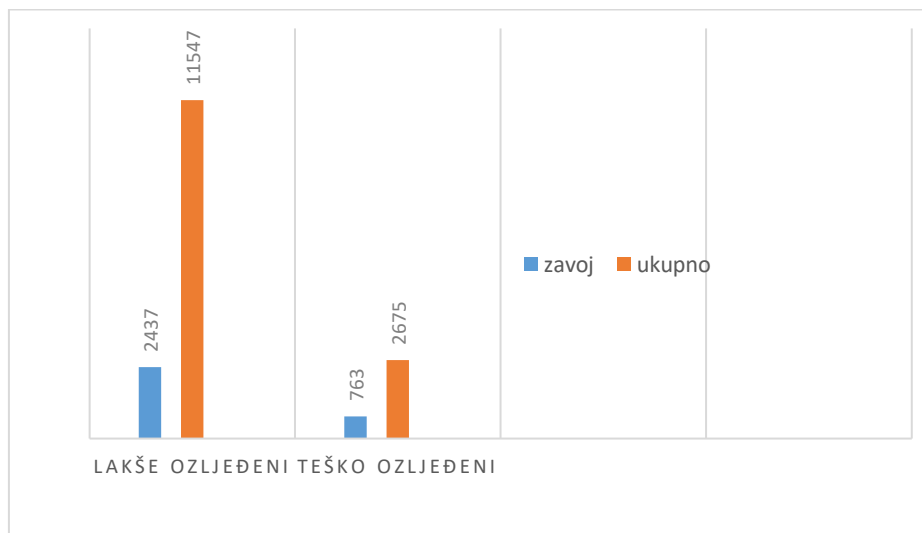
Osim poginulih vrlo visok broj je i nastradalih osoba. On se također iz godine u godinu nastoji smanjiti.

Tablica 8. Nastradale osobe na hrvatskim cestama

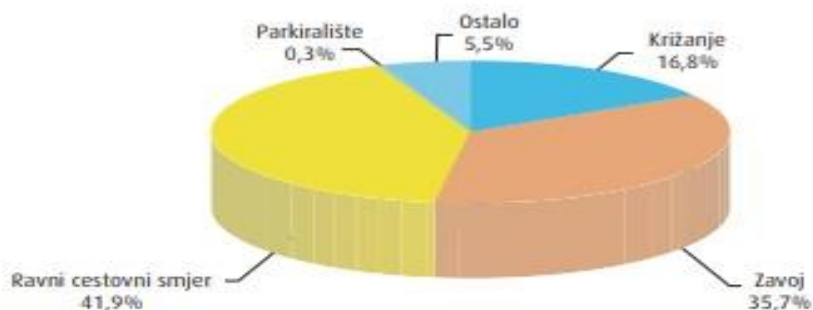
Godina	Nastradale osobe
2014	14222
2015	15024
2016	14579
2017	14608
2018	13989

Izvor:[11]

3.3.1. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2014. godini



Grafikon 6. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2014.
Izvor: [11]



Slika 3.6. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2014. godini
Izvor: [11]

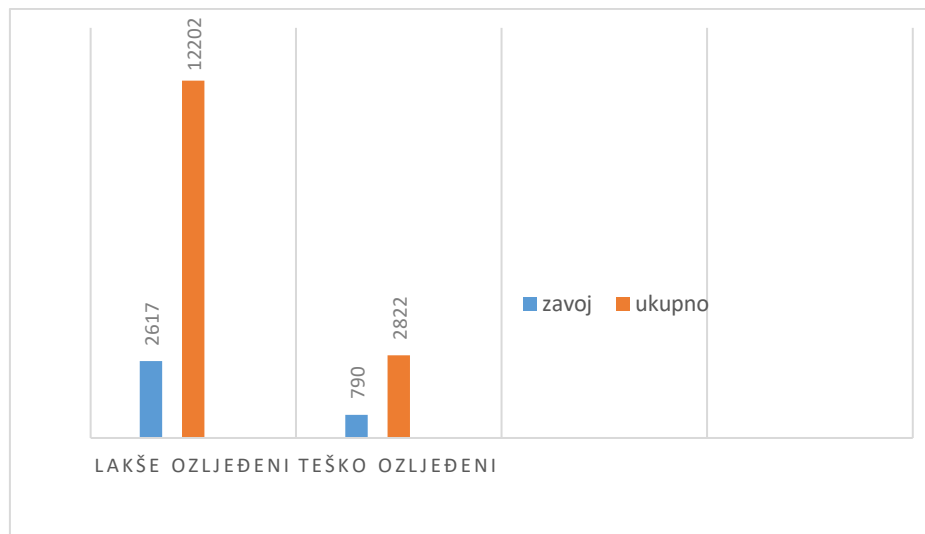
Prema podacima iz grafikona 6 moguće je zaključiti:

Teško ozlijeđeni u zavoju - 763/2675 (28,5%)

Lakše ozlijeđeni u zavoju - 2437/11547(21,1%)

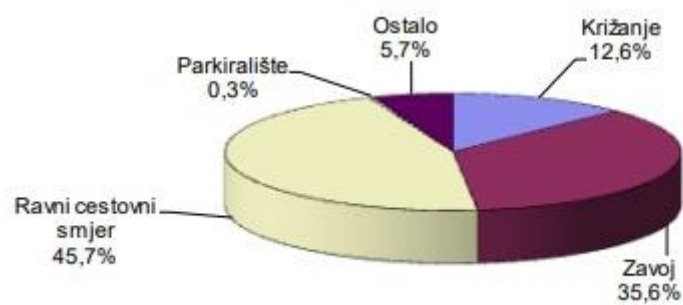
Poginuli u zavoju - 110/308(35,7%)

3.3.2. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2015. godini



Grafikon 7. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2015.

Izvor: [11]



Slika 3.7. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2015. godini

Izvor: [11]

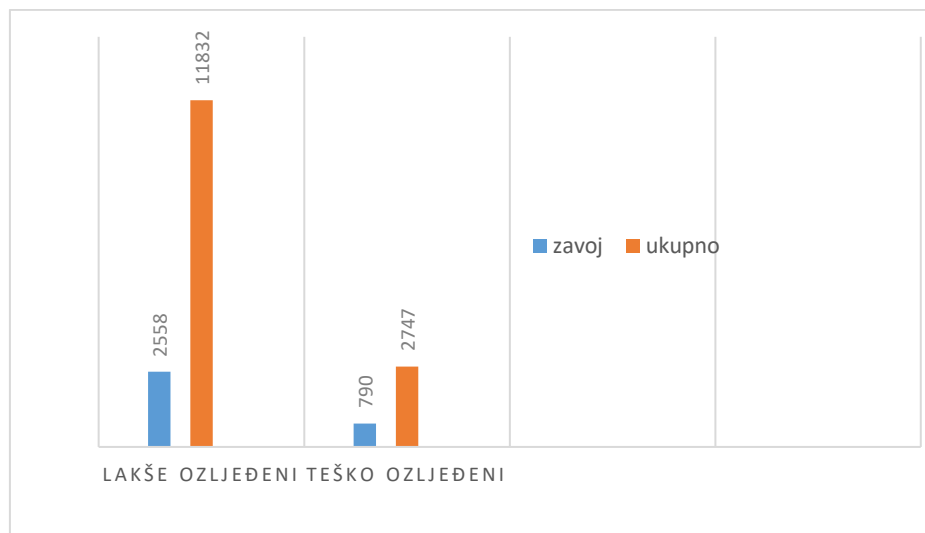
Prema podacima iz grafikona 7 moguće je zaključiti:

Teško ozlijeđeni u zavoju - 821/2822 (29,1%)

Lakše ozlijeđeni u zavoju - 2617/12202(21,4%)

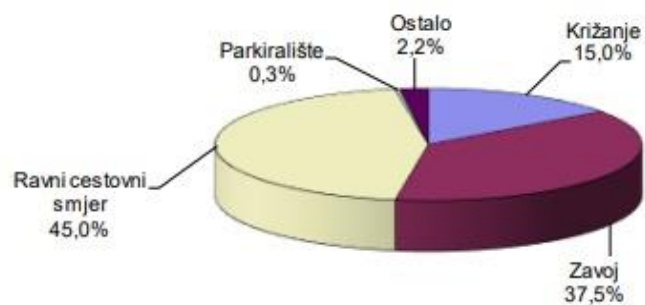
Poginuli u zavoju - 124/348(35,6%)

3.3.3. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2016. godini



Grafikon 8. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2016.

Izvor: [11]



Slika 3.8. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2016. godini

Izvor: [11]

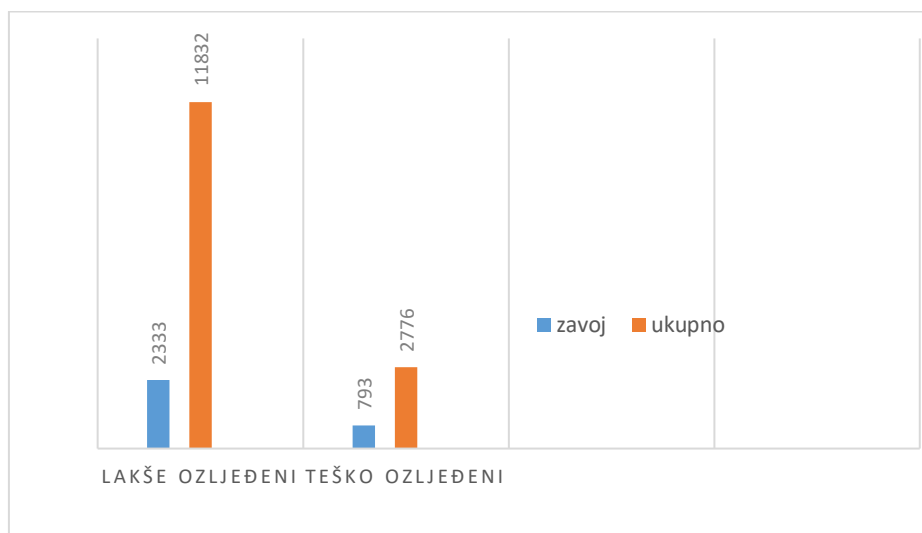
Prema podacima iz grafikona 8 moguće je zaključiti:

Teško ozlijeđeni u zavoju - 790/2747(28,8%)

Lakše ozlijeđeni u zavoju - 2558/11849(21,6%)

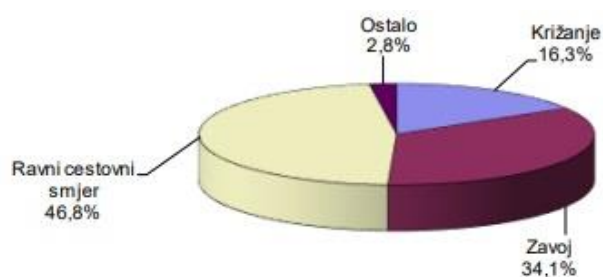
Poginuli u zavoju - 115/307(37,5%)

3.3.4. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2017. godini



Grafikon 9. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2017.

Izvor: [11]



Slika 3.9. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2017. godini

Izvor: [11]

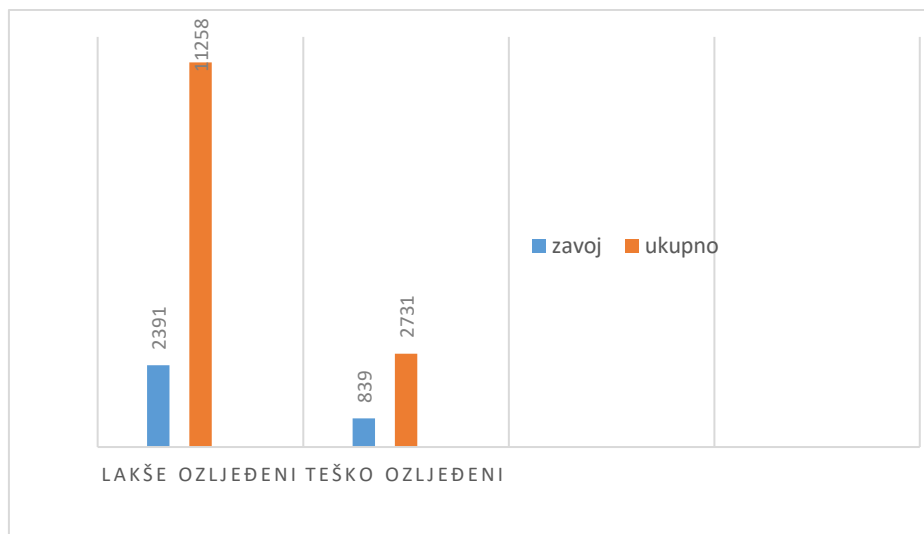
Prema podacima iz grafikona 9 moguće je zaključiti:

Teško ozlijeđeni u zavoju - 793/2776 (28,6%)

Lakše ozlijeđeni u zavoju - 2333/11832(19,7%)

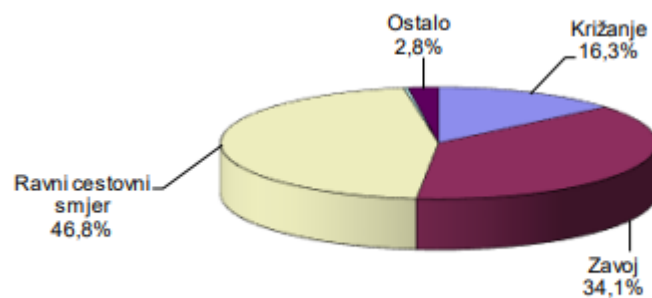
Poginuli u zavoju - 113/331(34,1%)

3.3.5. Nastradale osobe u prometnim nesrećama prema značajkama ceste u 2018. godini



Grafikon 10. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2018.

Izvor: [11]



Slika 3.10. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2018. godini

Izvor: [11]

Prema podacima iz grafikona 10 moguće je zaključiti:

Teško ozlijeđeni u zavoju - 839/2731 (30,7%)

Lakše ozlijeđeni u zavoju - 2391/11258(21,2%)

Poginuli u zavoju - 117/317(36,9%)

3.4. Cesta kao čimbenik sigurnosti i uzročnik nesigurnosti

Tehnički nedostaci ceste često su uzrok nastanka prometnih nesreća, a oni mogu nastati prije projektiranja ceste i pri njihovoj izvedbi. Utjecaj konstruktivnih elemenata na sigurnost prometa dolazi do izražaja pri oblikovanju te pri utvrđivanju dimenzija i konstruktivnih obilježja ceste. Cestu kao čimbenik sigurnosti prometa obilježuju [1]:

- trasa ceste
- tehnički elementi ceste
- stanje kolnika
- oprema ceste
- rasvjeta ceste
- križanja
- utjecaj bočne zapreke
- održavanje ceste

Trasom ceste određuje se smjer i visinski položaj ceste. Trasa ceste treba biti homogena, tj. omogućavati jednoličnu brzinu kretanja vozila. Svaka nagla promjena brzine može uzrokovati prometnu nezgodu. Zavoji minimalnog polumjera mogu biti uzrok prometnih nesreća ako se primjenjuju nakon dugih pravaca, jer ih vozač ne očekuje.

Tehnički elementi ceste važni su čimbenici sigurnosti prometa. Primjenjuju se u skladu s trasom ceste. Na našim cestama najčešće se primjenjuju kolnici sa po dva prometna traka. Sa stajališta sigurnosti prometa, pogodniji su kolnici s četiri prometna traka s odvojenim smjerovima.

Loše stanje kolnika može znatno utjecati na sigurnost prometa. Velik broj prometnih nesreća nastaje zbog smanjenog koeficijenta trenja između kotača i kolnika te zbog oštećenja gornje površine kolnika, tj. tzv. pojavom rupa. Za sigurnu vožnju nužno je dobro prijanjanje između kotača i zastora. Na smanjenje prijanjanja znatno utječu: mokar zastor, vodeni klin, onečišćen i blatani zastor, neravnine na zastoru, nagib ceste, snijeg, led, temperatura i sl.

Dobrom opremom povećava se sigurnost vozača, što je posebno važno pri velikim brzinama. Suvremeni promet zahtjeva sigurno kretanje vozila, i to u normalnim uvjetima i pri smanjenoj vidljivosti (magla, kiša i sl.) i noću. Opremu ceste čine: prometni znakovi, kolobrani, ograda, živice, smjerokazi, mačje oči, kilometarske oznake, snjegobrani i vjetrobrani.

Dobra rasvjeta nužan je preduvjet za siguran promet jer se veliki dio prometa odvija noću. Rasvjeta mora biti takva da svim sudionicima u prometu osigurava noću sigurnu vožnju. Dobrom rasvjetom povećava se udobnost vožnje, smanjuje umor vozača, a prometno opterećenje raspoređuje se jednoliko tijekom čitava 24 sata.

Preglednost na križanju koja je smanjena tri puta smanjuje sigurnost prometa za deset puta. Zbog toga je potrebno križanje rješavati u dvije ili više razina. Ako to nije moguće, treba osigurati dobru preglednost i posebnu pažnju pri regulaciji prometa. Posebna opasnost na križanjima su vozila koja skreću ulijevo, te ih pri reguliranju treba posebno odvojiti.

Stalne ili povremene zapreke u blizini ruba kolnika nepovoljno utječu na sigurnost prometa. Stoga se na bankinama ne smiju postavljati stalne ili povremene zapreke, kao što su ograde, drveće, telefonski stupovi, reklamne ploče. Isto tako valja izbjegavati da pri rekonstrukciji ceste ne ostane uzak most, propust, uzdignut rubnjak i slično.

Radovi na održavanju cesta moraju se obavljati redovito i brzo tijekom cijele godine. Bitno je osigurati radovima uvjete za sigurno kretanje i vožnju cestom, a to će se postići što boljim održavanjem ceste. Promet je zimi otežan zbog smanjenje vidljivosti, snijega i leda na kolniku te je zbog toga potrebno da za uklanjanje svih smetnji tijekom zime bude dobro organizirana zimska služba koja je specijalizirani dio službe održavanja cesta [1].

4. ELEMENTI PROJEKTIRANJA I ODREĐIVANJE GRANIČNIH BRZINA U ZAVOJU PREMA KATEGORIJI I ZNAČAJKAMA CESTE

Cesta kao čimbenik sigurnosti određuje se prema prometnim potrebama. On ovisi o kategoriji ceste, eksploatacijskim značajkama i terenskim uvjetima.

4.1. Prijelazna krivulja(klotoida)

Između pravca i zavoja umeće se prijelazna krivulja(oblika klotoida). Prijelaz iz pravca u luk bez prijelazne krivulje može se dopustiti samo u iznimnim slučajevima (kad pomak luka izaziva velike troškove) pri polumjerima većim od onih u tablici 9. ili njima jednakim.

Tablica 9. Veličina R za zavoje bez prijelaznica

Vr[km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R[m]	1500						1800	2000	2500	3000

Izvor: [1]

Duljina prijelazne krivulje određuje se prema vozno-dinamičkim, vizualnim, konstruktivnim i estetskim uvjetima. Prema vozno-dinamičkim uvjetima duljina prijelazne krivulje pri najmanjem polumjeru R_{min} dobiva se prema jednadžbi:

$$L_{min} = \frac{2,725}{f_2} \times \frac{V}{s} \quad [1]$$

L_{min} - duljina prijelazne krivulje [m]

f_2 – radijalni koeficijent prijanjanja

V – računaska brzina [km/h]

s- bočni udar “trzaj” [m³]

R_{min} – minimalni polumjer[m]

R – polumjer zavoja[m]

Duljina prijelazne krivulje za ostale polumjere R u granicama od R_{min} do $R_9 = 3R_{min}$ može se dobiti prema izrazu:

$$L = \frac{R_{\min}}{R} \times L_{\min} \quad [2]$$

odnosno

$$L = \frac{1-k}{46,656 \times s} \times \frac{V^3}{R} \quad [3]$$

gdje je:

$$K = \frac{0,01 \times p_{\max}}{f_2 + 0,01 \times p_{\max}} \quad [4]$$

p_{\max} . – najveći poprečni nagib u zavoju

U tablici 10. predočene su veličine bočnog udara (s) ovisno o računskoj brzini V_r i najmanjoj duljini prijelazne krivulje L_{\min} u području R_{\min} do približno $3 R_{\min}$.

Tablica 10. Veličine bočnog udara (s)

V_r [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
S [m/s ³]	0,909	0,773	0,654	0,555	0,469	0,396	0,338	0,290	0,252	0,204
L_{\min} [m]	25	30	40	50	60	70	90	100	110	120

Izvor: [1]

Prema vizualnim uvjetima, duljina prijelazne krivulje određena je pomakom kružnog luka ΔR koji ne smije biti manji od $\Delta R = 0,30$ m. Na osnovi toga dobije se:

$$\Delta R = \frac{L_{\min}^2}{24 \times R} = 0,30 \quad [5]$$

odnosno

$$L_{\min} = \sqrt{24 \times 0,3 \times R} = \sqrt{7,2 \times R} \quad [6]$$

Prema konstruktivnim uvjetima, duljina prijelazne krivulje ne smije biti kraća od duljine prijelazne rampe L_R čiji je najveći nagib $i_{maks.}$ predložen u tablici.

Tablica 11. Najveći nagib prijelazne rampe $L_R(i_{maks.})$

V_r [km/h]	≤ 40	60	≥ 80
$i_{maks.}$ [%]	1,5	1,0	0,5-0,75

Izvor: [1]

Na osnovi toga može se postaviti uvjet da je duljina prijelaznog zavoja L jednaka duljini prijelazne rampe L_R i da se promjena poprečnog nagiba kolnika izvrši na duljini prijelaznog zavoja:

$$L = \frac{A^2}{R} = L_R \quad [7]$$

L – duljina prijelazne rampe [m]

- U slučaju prevođenja poprečnog nagiba u pravcu u nagib u zavoju oko ruba kolnika

$$A_{min} = \sqrt{R_{min} \times B \times \frac{2}{i_{maks.}}} \quad [8]$$

- U slučaju prevođenja poprečnog nagiba u pravcu u nagib u zavoju oko osi kolnika

$$A_{min} = \sqrt{R_{min} \times B \times \frac{p_{maks.}}{2 \times i_{maks.}}} \quad [9]$$

Gdje je:

B – širina kolnika [m]

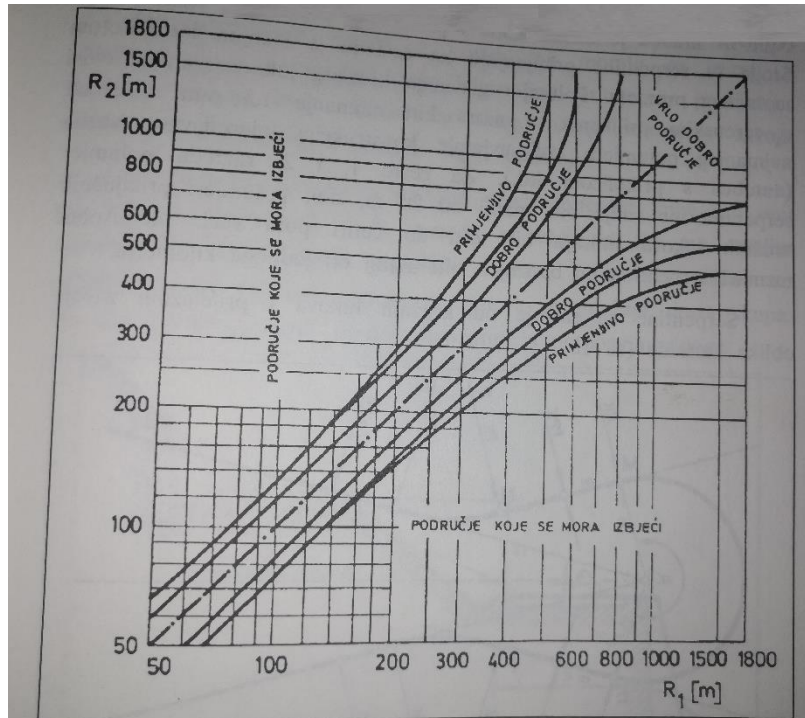
$p_{maks.}$ – najveći nagib u zavoju kod R_{min} [%]

Prema estetskim uvjetima, duljina prijelazne krivulje treba ublažiti dojam kojim oštrina zavoja djeluje na vozača. To se može postići ako je veličina kuta skretanja $\tau \geq 3^\circ$. Na

osnovi toga dobije se [1]:

$$t = \frac{A^2}{180^0 \times \frac{2}{R^2} \times \pi} \quad [10]$$

t - kut skretanja



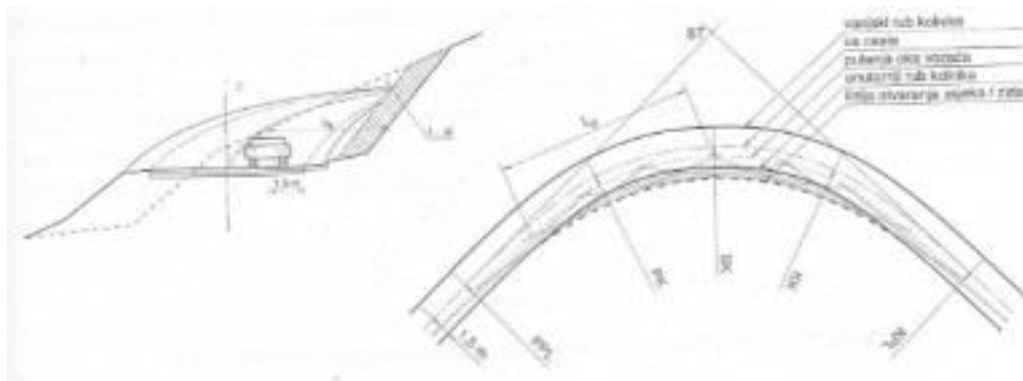
Slika 4.1. Preporučive vrijednosti polumjera susjednih zavoja
Izvor: [3]

4.2. Preglednost u zavojima

Preglednost mora biti osigurana na svim dijelovima ceste u horizontalnom i vertikalnom smislu za oba smjera vožnje [12]. Analiza preglednosti može se provesti računski grafički i odgovarajućim programom na računalu. Osiguranje preglednosti izvodi se tako da se najprije izračunaju potrebne duljine preglednosti prema računskoj brzini. Potrebna preglednost osigurava se primijenjenim proširivanjem usjeka ili izradbom zida na unutarnjoj strani odnosno uklanjanjem zapreke koja sprečava preglednost.

Ispitivanjem potrebne preglednosti obavlja se tako da se usporedno s unutarnjim rubom kolnika na udaljenost od 1,5 m nanese polumjer putanje oka vozača. Na tom polumjeru putanje oka vozača nanosi se duljina preglednosti $L_p = P_z$ kao tetiva.

Preglednost je osigurana ako je tetiva unutar kolnika ili ga dodiruje, ako siječe unutarnji rub kolnika, preglednost nije osigurana [1].



Slika 4.2. Osiguranje i provjera horizontalne preglednosti P_z (m)

Izvor: [2]

4.2.1. Horizontalna preglednost

Uzduž cijele trase potrebno je osigurati dostatnu duljinu preglednosti koja odgovara duljini zaustavljanja pred nepomičnom zaprekom. U praksi se razlikuje horizontalna preglednost P_1 (m) od vertikalne preglednosti P_2 (m).

4.2.2. Zaustavna preglednost

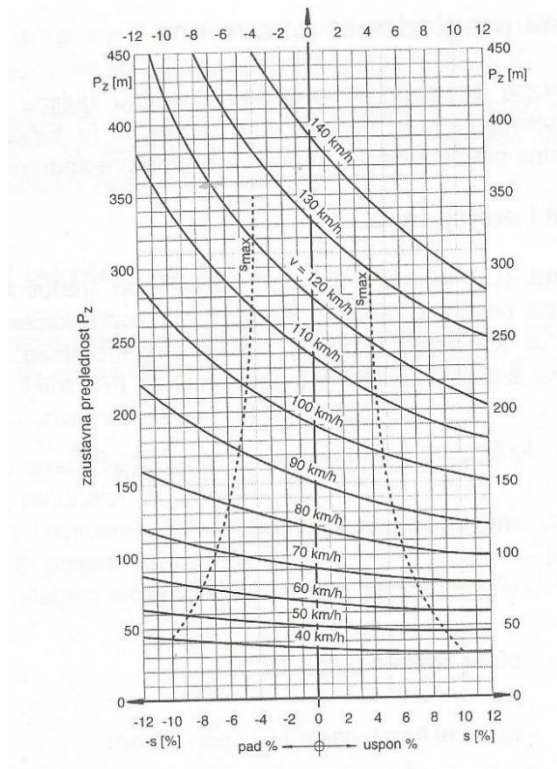
Zaustavna preglednost (P_z) je duljina preglednosti ili zaustavnog puta pred preprekom pred kojom se vozilo treba sigurno zaustaviti. Treba biti osigurana u horizontalnom i vertikalnom smislu za oba smjera vožnje.

Vrijednost zaustavne preglednosti P_z određena je prema mjerodavnoj brzini V i uzdužnom nagibu s . Zaustavne preglednosti za $s = 0\%$ predočene su u tablici 12 a za ostale nagibe na slici 4.3. [2].

Tablica 12. Zaustavna preglednost P_z za razine V (pri $s = 0\%$)

V_r [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
P_z [m]	25	35	50	70	90(80)	120(100)	150(120)	190(150)	230(170)	180(200)

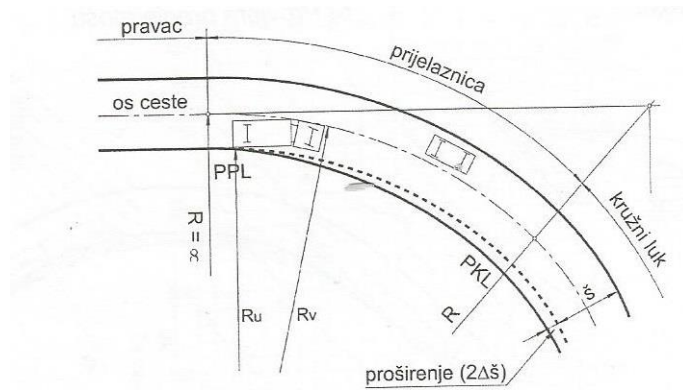
Izvor: [2]



Slika 4.3. Zaustavne preglednosti P_z za različite brzine (V) i uzdužne nagibe(s)
Izvor: [2]

4.3. Proširenje kolnika u zavoju

Prolazom kroz zavoj prednji se kotači vozila zakreću te vozilo zauzima veću širinu od one u pravcu. Proširenje kolnika ovisi o polumjeru kružnog zavoja i o tehničkim elementima (širini i razmaku osovina) mjerodavnog vozila [2].



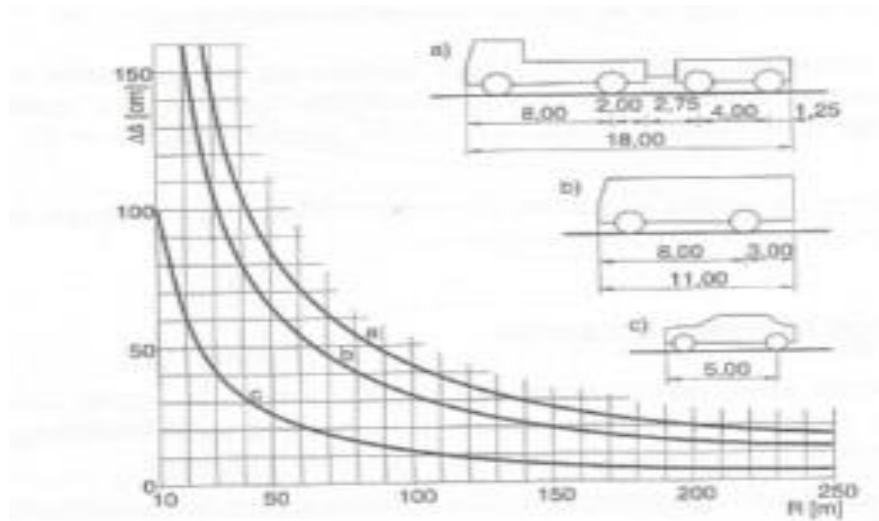
Slika 4.4. Proširenje u horizontalnom zavoju za mjerodavna vozila
Izvor: [2]

Proširenje kolnika u normalnim zavojuima provode se na njihovoj unutarnjoj strani, i to postupno uzduž prijelaznice do pune vrijednosti u kružnom luku(slika 4.5.) [2].

a) $\Delta\check{s} = \frac{42}{R}$ – za teretno vozilo s prikolicom [m] [11]

b) $\Delta\check{s} = \frac{32}{R}$ – za teretno vozilo ili autobus [m] [12]

c) $\Delta\check{s} = \frac{10}{R}$ – za osobni automobil [m] [13]



Slika 4.5. Proširenje prometnog traka u kružnom luku
Izvor: [2]

4.4. Nagibi

Veličina uzdužnih i poprečnih nagiba po pravilu je ista kao i na otvorenom dijelu ceste. Pri projektiranju čvorišta potrebno je predvidjeti što manje uzdužne nagibe da bi se omogućilo lakše zaustavljanje i pokretanje vozila te bolja vidljivost.

Veličina uzdužnog nagiba iznosi 0,5-4,0%, a poprečnog nagiba 1,0%-7,0%. Uzdužni nagib spojnih rampi je najviše 4% ako nema traka za spora vozila. Postoji li trak za spora vozila, uzdužni nagib u usponu može biti do 6%, a u padu do 8,0% [1].

4.4.1 Poprečni nagib

Poprečni nagib kolnika u pravcu iznosi 2,5 % do 4%, ovisno o vrsti zastora. Pravilno izveden poprečni nagib osigurava dobru odvodnju oborinske vode s kolnika te se tako povećava sigurnost prometa.

Prema našim propisima, najmanja veličina poprečnog nagiba u pravcu za sve vrste suvremenih zastora je 2,5%, a na cestama sa zastorom od makadama 4%. U zavoju se izvodi jednostrani poprečni nagib. Najveća dopuštena veličina poprečnog nagiba kolnika koji se primjenjuje u lukovima minimalnog polumjera iznosi 7%. Kod zavoja koji su izvedeni s uzdužnim nagibom treba kontrolirati veličinu dijagonalnog nagiba kako ne bi došlo do klizanja vozila u dijagonalnom smjeru, naročito na mokrom i klizavom kolniku.

4.4.2 Uzdužni nagib

Uzdužni nagib ovisi o terenu i o značenju i rangju ceste što se vidi iz tablice 13.

Tablica 13. Uzdužni nagib s_{max} [%]

Vrsta ceste	Najveći uzdužni nagib [%]			
	nizinski	brežuljkasti	Brdoviti	planinski
Autoceste	-	4-5	5	7
Ceste 1. razreda	-	5	6	7
Ceste 2. razreda	-	6	7	8
Ceste 3. razreda	-	7	8	10
Ceste 4. razreda	-	8	10	11
Ceste 5. razreda	-	10	11	12

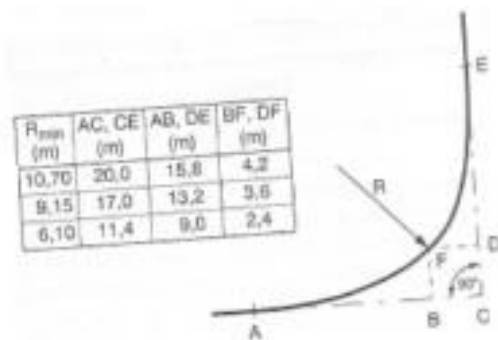
Izvor: [1]

Na dugim usponima s uzdužnim nagibom većim od 4% treba predvidjeti proširenje ceste otprilike na svakih 100m visinske razlike radi eventualnog zaustavljanja vozila. Veličina polumjera vertikalnog zaobljenja R_v pri konveksnom prijelomu nivelete dobit će se na temelju duljine preglednosti, tj. Zaustavljanja vozila pred nepomičnom zaprekom, a pri konkavnom prijelomu iz uvjeta da veličina centrifugalnog ubrzanja ne prelazi vrijednost $0,5 \text{ m/s}^2$ [1].

4.5. Polumjeri zavoja

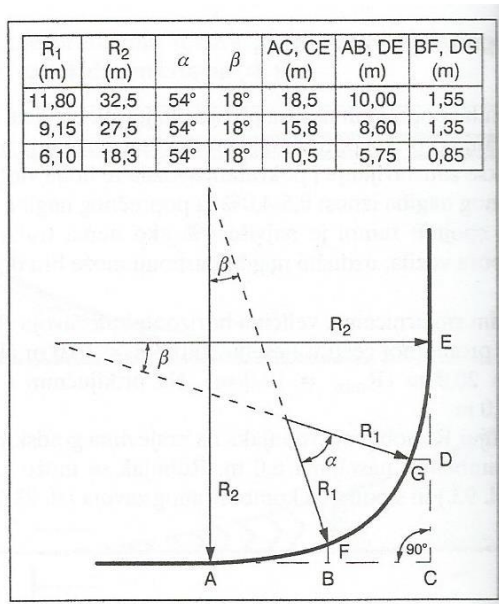
Veličina horizontalnog zavoja R na običnim čvorištima na glavnoj prometnoj cesti u naselju iznosi $R = 10,0 \text{ m}$ ($R_{min.} = 8,0 \text{ m}$), a izvan naselja $R = 20,0 \text{ m}$ ($R_{min.} = 10 \text{ m}$ (: Na priključnim i zbirnim cestama polumjer je $R = 6,0 \text{ m}$)). Najmanji polumjer R zaobljenja rubnjaka na krajevima gradskih ulica je 11-12 m, a na ulicama u stambenim naseljima 6,0 m. Rubnjak se može zaobliti s pomoću spiralnog zavoja (slika 4.6.) ili s pomoću kombiniranog zavoja (slika 4.7.).

Primjenom kombiniranih zavoja (umjesto kružnih lukova) vožnja je sigurnija i izbjegava se rizik vezan za zanošenje vozila i dodirivanje rubnjaka.



Slika 4.6. Spiralni zavoj

Izvor: [1]



Slika 4.7. Kombinirani zavoj

Izvor: [1]

4.6. Projektna brzina

Projektna brzina (V_p) je najveća brzina za koju je zajamčena potpuna sigurnost vožnje u slobodnom prometnom toku duž poteza trase, pod optimalnim vremenskim uvjetima i uz dobro održavanje ceste. Projektna brzina održava razinu građevinsko-prometnih svojstava

ceste i određuje se projektnim zadatkom. U praktičnim pogledu V_p je polazni parametar u fazi studijskih analiza, idejnog modeliranja i načelnih rješenja trase.

Projektna brzina V_p određuje granične vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase, odnosno:

- najmanji polumjer horizontalnog zavoja $R_{min}[m]$
- najveći uzdužni nagib trase $s_{max}[\%]$
- poprečni presjek ceste s prometnim trakovima

U realnim uvjetima određuje se projektnim zadatkom na osnovi ključnih odrednica:

- zadaće u mreži cesta odnosno prema razredu ceste
- terenske konfiguracije odnosno prostornih ograničenja
- najveće brzine dopuštene zakonom

Vrijednost projektne brzine V_p određuje se prema slici 4.8.. [2].

Prometno-tehničko razvrstavanje		Projektna brzina V_p [km/h] / Nagibi s_{max} [%]							
Rang ceste	Razina usluge	120 a.	100 b.	90 c.	80 d.	70 e.	60 f.	50 g.	40 h.
AC-BC	C/D	$\geq 120/4^+$	100/5*	90/5,5**	80/6** *				
1. razr.	D		100/5,5 ⁺	90/5,5*	80/6**	70/7** *			
2. razr.	E		100/5,5 ⁺	90/5,5*	80/6*	70/7**	60/8** *		
3. razr.	E				80/7 ⁺	70/7*	60/8**	50/9***	
4. razr.	E					70/8 ⁺	60/9*	50/10**	40/11***
5. razr.	E						60/10 ⁺	50/11*	40/12** 40(30)/12***

Oznake za teren: ⁺ nizinski / bez ograničenja; * brežuljkasti / umjerena ograničenja;
** brdski / znatna ograničenja; *** planinski / velika terenska ograničenja

Slika 4.8. Projektne brzine V_p [km/h] i najveći uzdužni nagib trase s_{max} [%]

Izvor: [2]

4.7. Računska brzina

Računska brzina (V_r) najveća je očekivana brzina koju vozilo u slobodnom prometnom toku može ostvariti uz dovoljnu sigurnost vožnje na određenom dijelu ceste, u skladu s

prihvaćenim modelom njezinog ustanovljavanja te ovisno o tlocrtnim i visinskim elementima tog dijela trase.

Na osnovi računске brzine određuje se detaljniji geometrijski elementi trase (u fazi projektne razrade):

- poprečni nagib kolnika u zavojima q [%]
- potrebne duljine preglednosti P1 i P2
- polumjeri vertikalnih zaobljenja trase R_{min} [m]
- najmanji polumjer horizontalnog zavoja sa suprotnim nagibom kolnika R_{min} [m].

Računska brzina (V_r) ne može biti manja od projektne brzine (V_p), a najveća vrijednost V_r ne smije biti veća od najveće brzine dopuštene zakonom za određene razrede ceste.

Načinom vođenja osnovne linije i odabirom pojedinih elemenata trase težiti da računska brzina ima ujednačene vrijednosti na što duljim dionicama trase ali ne kraćim od [2]:

- 10 km na autocestama i cestama 1. razreda
- 5 km na cestama 2.-5. razreda

Razlika između najmanje i najveće vrijednosti računске brzine V_r unutar iste dionice ne smije biti veća od 15 km/h. Razlika među brzinama $V_r - V_p \geq 20$ km/h.

Potrebno je provjeriti opravdanost usvojene projektne brzine V_p i povećati je, ili pak smanjiti računsku brzinu V_r putem korekcije trase kako bi se razlika bila u propisanim granicama ($V_r - V_p > 20$ km/h):

U praksi se određenim postupcima računska brzina V_r iznalazi na osnovi tlocrtnih i visinskih elemenata trase (iz idejnih rješenja) [2]:

- najmanjeg primijenjenog polumjera horizontalnog zavoja prema tablici
- najvećeg primijenjenog uzdužnog nagiba prema tablici

Tablica 14. Odnos računске brzine (V_r) i najmanjeg polumjera zavoja R_{min} [m]

V_r [km/h]	(30)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R_{min}	(25)	45	75	120	175	250	350	450	600	750	850

Izvor: [2]

4.8. Kružni luk

Zavoji utječu na odvijanje prometa i propusno moć ceste te ih treba projektirati sa što većim polumjerima. Vožnja kroz zavoj je teža što je manji polumjer zavoja, što je veća brzina, što je dulje vozilo i što je uža prometni trak. Pri pružanju ceste osobito je pogodno ako se na desni zavoj nastavlja lijevi itd., ili obratno, budući da se tako postiže dobra preglednost ceste.

Pri projektiranju se ne smije dopustiti neposredno nizanje zavoja velikih i malih polumjera. Na autocestama i cestama 1. razreda polumjeri uzastopnih (susjednih) zavoja trebaju se nalaziti u "vrlo dobrom području"(slika), na cestama 2. i 3. razreda u "dobrom području", a na ostalim cestama u "primjenjivom području" [2].

4.8.1. Određivanje polumjera kružnog luka

Najmanji kritični polumjer kružnog luka dobiva se iz uvjeta stabilnosti vozila u zavoju, pri određenoj računskoj brzini i najvećem dopuštenom poprečnom nagibu kolnika u zavoju. Najmanja duljina dionice s kružnim lukom uvjetovana je vremenom vožnje od jedne do dvije sekunde za odgovarajuću računsku brzinu. Pri utvrđivanju polumjera zavoja uzima se u proračun mogućnost otklizavanja odnosno zanošenja vozila. Stabilnost na prevrtanje provjerava se samo za nestandardne tipove vozila, kao što su autobusi na kat, specijalne vrste transportera i sl., te u posebnim uvjetima (vjetar, rizična vožnja kroz zavoje itd.) [2].

4.8.1.1. Stabilnost vozila na prevrtanje

Prolaskom kroz zavoj nestabilno vozilo može dospjeti u labilan položaj ili će se prevrnuti u slučaju ako rezultanta od sile C i G padne izvan dodirne točke B. Za uvjet stabilnosti vozila, moment centrifugalne sile prema točki B mora biti manji od momenta težine vozila ili jednak njemu, te se prema slici dobije [1]:

$$C \times \cos\alpha \times h - C \times \sin\alpha \times \frac{b}{2} \leq G \times \cos\alpha \times \frac{b}{2} + G \times \sin\alpha \times h \quad [14]$$

C – centrifugalna sila [N]

G – sila teža [N]

Za vrijednost poprečnog nagiba $q = 0$, dobije se iz prethodnog izraza za v i R : v^2

$$v = \sqrt{\frac{R x g x b}{2 x h}}, \text{ odnosno } R = \frac{2 x h x v^2}{g x b} \quad [15]$$

R – polumjer zavoja [m]

b – razmak između prednjih kotača [m]

h – visina težišta vozila [m]

g – akceleracija sile teže [m/s^2]

Na temelju izvedenih jednadžbi uočava se da stabilnost vozila na prevrtanje ovisi o visini težišta vozila h i o razmaku kotača b [2].

4.8.1.2. Stabilnost vozila na otklizavanje

Najmanji polumjer horizontalnog zavoja R_{min} u načelu se određuje iz uvjeta poprečne stabilnosti na otklizavanje u pomoćnom podsustavu $x'y'$ ($\sum F_{x'} = 0$).

Komponenti centrifugalne sile paralelnoj s kolnikom ($C_x \cos \alpha$), koja nastoji vozilo izbaciti u stranu (slika), suprotstavljaju se sila trenja između kotača i kolnika $f_R \times (G_x \cos \alpha + C_x \sin \alpha)$ i komponenta težine vozila paralelna s kolnikom ($G_x \sin \alpha$). Za održavanje ravnoteže mora sila trenja biti jednaka sili bočnog pritiska:

$$f_R (G_x \cos \alpha + C_x \sin \alpha) = C_x \cos \alpha - G_x \sin \alpha \quad [16]$$

Pri čemu je:

$$C = \frac{m x v^2}{R} = \frac{G_x v^2}{g x R} = \frac{G_x}{9,81 x 3,6^2 x R} = G_x \times \frac{V^2}{127 x R} \quad [17]$$

Uvrštavanjem i sređivanjem dobije se:

$$f_{2d} \times g \times R + v^2 \times f_{2d} \times \frac{p}{100} \geq v^2 - g \times \frac{p}{100} \times R \quad [18]$$

V – brzina [m/s]

f_R -sila trenja

Pri smanjivanju polumjera kružnog luka potrebno je poprečni nagib kolnika povećati sve do najvećeg dopuštenog poprečnog nagiba u zavoju. U graničnom slučaju, kada je primijenjen poprečni nagib q_{max} , određena je vrijednost najmanjeg polumjera koji se smije primijeniti pri čemu je K_p koeficijent koji pokazuje koji se dio centrifugalne sile savladava poprečnim nagibom, dok se ostatak savladava otporom bočnom klizanju. Vrijednosti koeficijenta K_p za prihvaćene vrijednosti f_R i poprečni nagib $q_{max} = 7\%$ prikazuje tablica. Za svaku drugu vrijednost q_{max} i f_R , može se izračunati K_p .

Tablica 15. Vrijednost koeficijenta $K_p = f(f_r, V_r)$

V_r [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f_R	0,245	0,218	0,139	0,171	0,151	0,133	0,118	0,105	0,094	0,086
K_p	0,222	0,243	0,266	0,290	0,317	0,345	0,372	0,400	0,427	0,449
R_{min}	25	45	75	120	180	250	350	450	600	750

Izvor: [2]

4.8.2. Poprečni nagib kolnika u zavoju

Unutar svih zavoja kolnik mora imati jednostran poprečni nagib s obzirom na središte zakrivljenosti. Maksimalan dopušteni poprečni nagib iznosi u zavojima 7%, a minimalni 2,5%. U serpentinama može poprečni nagib biti i veći od 7% ali ne preko 9%. Veličine poprečnog nagiba kolnika u zavoju q za $R > R_{min}$ određene su izrazom:

$$q = K_p \times \frac{V^2}{1,27 \times R} \quad [19]$$

q - poprečni nagib

I mogu se proračunati ili pak očitati u grafikonu sadržanom u tehničkim propisima.

Prema hrvatskim propisima, najveća dopuštena vrijednost poprečnog nagiba pri minimalnom polumjeru zavoja R_{min} iznosi 7%, a povećanjem polumjera zavoja od R_{min} ($R > R_{min}$) smanjuje se veličina poprečnog nagiba. Granični polumjer $R_g = 2,8 R_{min}$ dobije se pri minimalnom dopuštenom poprečnom nagibu u zavoju koji iznosi 2,5% (tj. Jednak je poprečnom nagibu kolnika u pravcu).

Vrijednost koeficijenta razmjernosti u ovisnosti o računskoj brzini V_r predočena je u tablici 15 [2]. Kod velikih polumjera zavoja i u posebnim slučajevima (poteškoća u vezi s vitoperenjem kolnika, u području raskrižja i priključaka, prikladnija odvodnja, ekonomski

razlozi itd.) dopušta se primjena nagiba prema vanjskoj strani zavoja (protunagib) ako su polumjeri zavoja veći od vrijednosti u tablici 16. [2].

Tablica 16. Dopušteni protunagibi (-q) iznad iznosa R_0 [m]

V_r [km/h]	80	100	120
R_0 [m]	2000	3000	4000

Izvor: [2]

4.9. Elementi iskoločenja zavoja

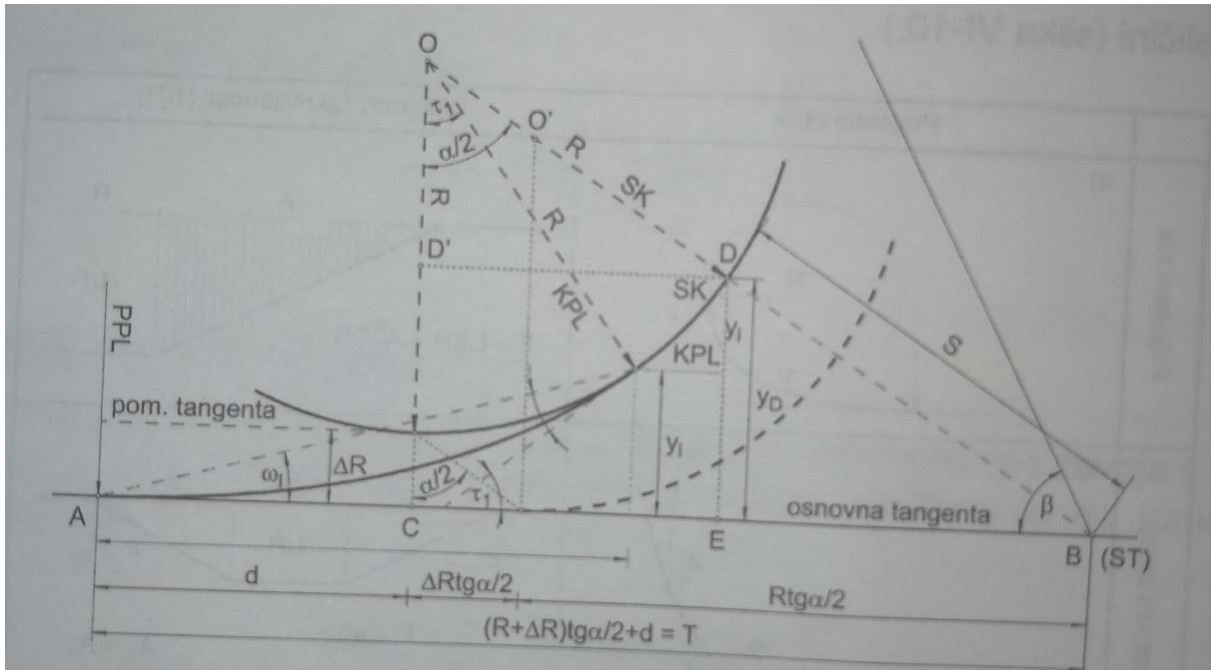
Pri iskoločavanju zavoja, odnosno u postupku prijenosa projektnih elemenata na teren, postavljaju se ponajprije osnovni geometrijski elementi osi ceste.

Postupak se odvija sljedećim redoslijedom:

- određivanje središnjeg kuta " α " što ga čine tangente pri promjeni smjera trase (očitovanje, računanje ili mjerenje)
- računanje i iskoločenje elemenata horizontalne krivine (duljina tangenata –T, bisektrisa –S, duljina krivine –D)
- iskoločenje detaljnih točaka horizontalne krivine (slika 18.)

Za iskoločenje klotoide potrebno je izračunati njezine elemente na osnovi tangentskog poligona i podataka iz priručnika (B. Žnideršić) [13].

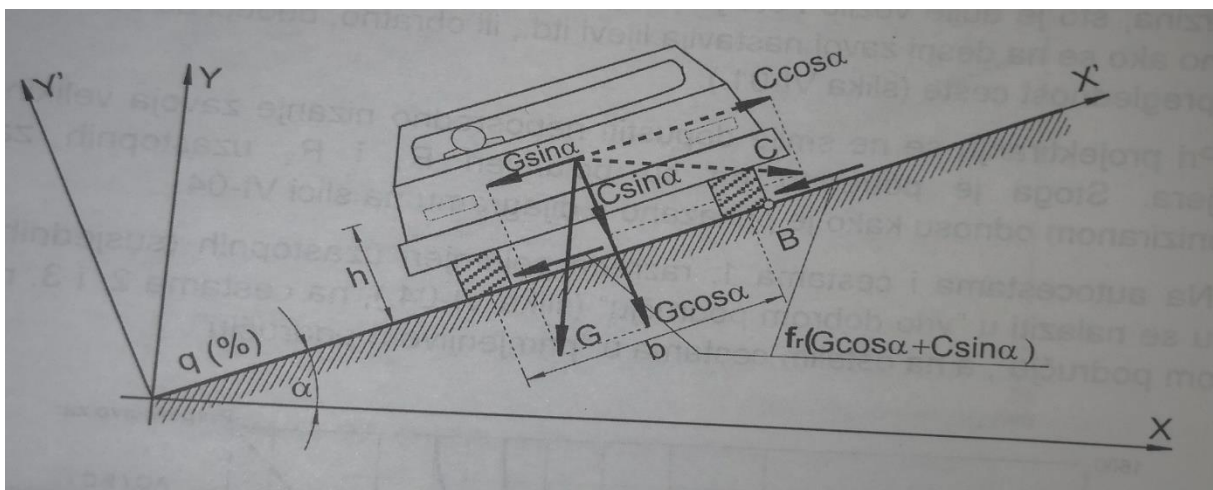
Klasično projektiranje ograničuje odabir R i L na vrijednosti sadržane u priručniku, dok u radu s jediničnom klotoidom i elektroničkim računalom tih ograničenja nema [2].



Slika 4.9. Elementi tlocrtnog zavoja s klotoidom
Izvor: [2]

5. NAČINI ODREĐIVANJA GRANIČNIH BRZINA KRETANJA VOZILA U ZAVOJU

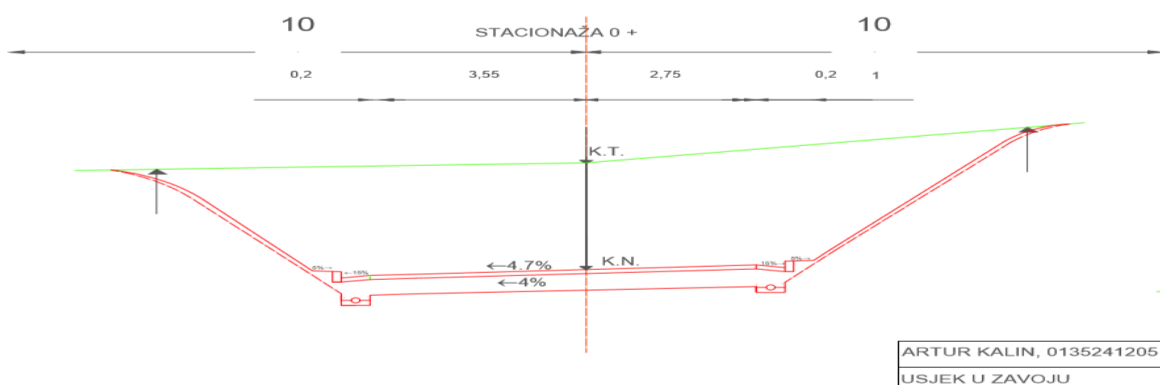
Prilikom prolaska vozila kroz zavoj između ostalih sila postoji mogućnost i djelovanja radijalne horizontalne centrifugalne sile a čija rezultanta može biti uzrokom prevrtanja ili zanošenje vozila (slika 19). Djelovanje navedene sile odnosno kolika će biti njezina veličina, osim ostalog povezana je i sa brzinom kretanja vozila. Da bi se umanjilo djelovanje radijalne horizontalne centrifugalne sile potrebno je prije svega odrediti graničnu brzinu koja omogućava sigurno kretanje vozila kroz zavoj.



Slika 5.1. Ravnotežno stanje vozila u zavoju

Izvor: [2]

Kao jedan od primjera na slici 21. prikazan je usjek u zavoju.



Slika 5.2. Usjek u zavoju

Izvor: Autocad

U ovome radu izračunat ćemo vrijednost graničnih brzina za osobni automobil Citroën C-Elysée. Njegove osnovne karakteristike su sljedeće:

Masa = 1090 kg = 1100 kg

Duljina = 4416 mm = 4,416 m = 4,5 m

Širina = 1748 mm = 1,748 m = 1,75 m



Slika 5.3. Citroën C-Elysée

Izvor: [13]

5.1. Stabilnost vozila u zavoju

Pri prolasku vozila kroz zavoj, pored ostalih sila koje su poznate pri vožnji u pravcu, djeluju na vozilo u njegovu težištu radialnih horizontalnih centrifugalnih sila C čija je vrijednost dana izrazom:

$$C = m \times \frac{v^2}{R} = \frac{G \times v^2}{g \times R} \quad \text{odnosno} \quad C = \frac{G \times V^2}{9,81 \times 3,6^2 \times R} = \frac{G \times V^2}{127,138 \times R} \quad [20]$$

$m = \frac{G}{g}$ – masa vozila kg

G – težina vozila [N]

G – ubrzanje vozila [9,81 m/s²]

v – brzina vozila [m/s]

V – brzina vozila [km/h]

R – polumjer zavoja [m]

Kao masu vozila uzimamo 1100 kg.

$$G = 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1100 \text{ kg} = 10\,791 \text{ N [težina vozila]}$$

5.1.1. Stabilnost vozila na prevrtanje

Izračun stabilnosti vozila na prevrtanje odnosno određivanje granične brzine iznad koje dolazi do prevrtanje dato je izrazom [1]:

$$C \times \cos\alpha \times h - C \times \sin\alpha \times \frac{b}{2} \leq G \times \cos\alpha \times \frac{b}{2} + G \times \sin\alpha \times h \quad [21]$$

sređivanjem izraza dobivamo sljedeći izraz

$$\frac{v^2}{g \times R} \times \left(h - \frac{b}{2} \times \frac{p}{100} \right) \leq \frac{b}{2} + h \times \frac{p}{100} \quad [22]$$

h – visina težišta vozila iznad kolnika [m]

b – razmak između kotača vozila [m]

p – poprečni nagib vozila u zavoju [%]

Kao visinu vozila uzimamo 1,5 metara a težište će iznositi 1/2 toga odnosno 0,75 m.

Kao razmak između kotača vozila uzimamo 1,5 m.

Iz toga slijedi:

$$h = 0,75 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

Kako bih mogli odrediti graničnu brzinu V potrebno je odrediti radijus zavoja. Ova veličina međusobno je povezana s poprečnim nagibom q .

Radijus zavoja povezan je s poprečnim nagibom jer poprečni nagib određujemo u tablici veličina poprečnog nagiba tako da najprije definiramo radijus zavoja, odnosno više njih (u ovom slučaju 7) a onda u tablici iščitamo poprečni nagib q . Još jedna veličina koja povezuje radijus, nagib je računski brzina V_r .

Izračunati ćemo 7 graničnih brzina kretanja vozila u zavoju, svaku za različiti radijus zavoja a samim time i različiti nagib i računsku brzinu V_r .

Prilikom odabira q odabiremo onaj koji je najbliži funkciji računski brzine V_r u tablici [1].

Tablica 17. Proračunski elementi

R[m]	50	100	250	500	1000	1500	2000
q[%]	3,42	3,21	3,375	2,54	3	2,92	2,5
V_r [km/h]	30	40	60	70	100	110	120
A	1,95	1,83	2,15	1,45	1,72	1,67	1,43

Sada imamo sve potrebne parametre kako bih mogli izračunati graničnu brzinu, odnosno brzinu pri kojoj bi u ovim danim uvjetima došlo do prevrtanja vozila.

Stabilnost vozila pri zanošenju

$$f_{2d} \times g \times R + v^2 \times f_{2d} \times \frac{p}{100} \geq v^2 - g \times \frac{p}{100} \times R \quad [23]$$

f_{2d} – dopušteni koeficijent prianjanja

Uvrštavanjem u formulu računamo:

1. $R = 50$, $q = 3,42\%$, $f_{2d} = 0,245$

$$0,245 \times 9,81 \times 50 + v^2 \times 0,245 \times 0,0342 \geq v^2 - 9,81 \times 0,0342 \times 50$$

$$120,1725 + 0,00733v^2 \geq v^2 - 16,7751$$

$$136,9476 \geq 0,99267 v^2$$

$$v \geq \sqrt{\frac{136,9476}{0,99267}} = 11,74 \text{ m/s}$$

$$V = 11,74 \text{ m/s} \times 3,6 = 42,264$$

$$\mathbf{V_{gz1} = 42,264 \text{ km/h}}$$

2. $R = 100$, $q = 3,21\%$, $f_{2d} = 0,218$

$$213,858 + 0,0069 v^2 \geq v^2 - 31,49$$

$$\mathbf{V_{gz2} = 56,58 \text{ km/h}}$$

3. $R = 250$, $q = 3,375\%$, $f_{2d} = 0,171$

$$419,3775 + 0,00577 v^2 \geq v^2 - 82,77$$

$$\mathbf{V_{gz3} = 80,9 \text{ km/h}}$$

4. $R = 500$, $q = 2,54\%$, $f_{2d} = 0,151$

$$740,655 + 0,00385 v^2 \geq v^2 - 124,587$$

$$\mathbf{V_{gz4} = 106,09 \text{ km/h}}$$

$$5. R= 1000, q= 3\%, f_{2d}=0,105$$

$$1030,05+ 0,00315v^2 \geq v^2 - 294,3$$

$$\mathbf{V_{gz5} = 131,21km/h}$$

$$6. R= 1500, q= 2,92\%, f_{2d}=0,094$$

$$1383,21 + 0,00274 v^2 \geq v^2 - 429,678$$

$$\mathbf{V_{gz6} = 153,49km/h}$$

$$7. R= 2000, q= 2,5\%, f_{2d}=0,086$$

$$1387,32 + 0,00215 v^2 \geq v^2 - 490,5$$

$$\mathbf{V_{gz7} = 168,18 km/h}$$

5.1.2. Stabilnost vozila na prevrtanje

Osim zanošenja u zavoju može doći i do prevrtanja. Većina osobnih automobila je konstruirana tako da je odnos momenta nestabilnosti i momenta stabilnosti takav da će vozilo prije doći u zanošenje – klizanje nego će se prevrnuti. Kod teških vozila, a posebno kod onih natovarenih u visinu, moment nestabilnosti može nadvladati moment stabilnosti i može doći do prevrtanja vozila [1]. Sukladno tome možemo zaključiti da će do prevrtanja osobnih automobila jako teško doći pogotovo pri većim projektnim brzinama i radijusima gdje će to čak biti i ne moguće.

Tablica 18. Proračunski elementi

R[m]	50	100	250	500	1000	1500	2000
q[%]	3,42	3,21	3,375	2,54	3	2,92	2,5
V _r [km/h]	30	40	60	70	100	110	120
A	1,95	1,83	2,15	1,45	1,72	1,67	1,43
h[m]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
b[m]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

$$\frac{v^2}{g \times R} \times \left(h - \frac{b}{2} \times \frac{p}{100} \right) \leq \frac{b}{2} + h \times \frac{p}{100} \quad [24]$$

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

$$1. R= 50, q =3,42\%, h= 0,75, b=1,5$$

$$\frac{v^2}{9,81 \times 50} \times \left(0,75 - \frac{1,5}{2} \times \frac{3,42}{100} \right) \leq \frac{1,5}{2} + 0,75 \times \frac{3,42}{100}$$

$$\frac{v^2}{490,5} \times (0,72435) \leq 0,77565$$

$$v^2 \leq \frac{0,77565 \times 490,5}{0,72435}$$

$$v^2 \leq 525,15$$

$$v \leq \sqrt{525,15}$$

$$v \leq 22,92 \text{ m/s}$$

$$v \leq 22,92 \text{ m/s} \times 3,6 \text{ S}$$

$$\mathbf{V_{gp1} = 82,498 \text{ km/h}}$$

$$2. R= 100, q=3,21\%, h= 0,75, b=1,5$$

$$\frac{v^2}{981} \times (0,7259) \leq 0,774075$$

$$\mathbf{V_{gp2} = 116,45 \text{ km/h}}$$

$$3. R= 250, q=3,375, h= 0,75, b=1,5$$

$$\frac{v^2}{2452,5} \times (0,7246875) \leq 0,7528125$$

$$\mathbf{V_{gp3} = 181,71 \text{ km/h}}$$

$$4. R= 500, q= 2,54\%, h= 0,75, b=1,5$$

$$\frac{v^2}{4905} \times (0,73095) \leq 0,76905$$

$$\mathbf{V_{gp4} = 258,62 \text{ km/h}}$$

5. R= 1000, q= 3%, h= 0,75, b=1,5

$$\frac{v^2}{9810} \times (0,7275) \leq 0,7725$$

Vgp5 = 367,35 km/h

6. R= 1500, q= 2,92%, h= 0,75, b=1,5

$$\frac{v^2}{981} \times (0,7281) \leq 0,7719$$

Vgp6 = 449,64 km/h

7. R= 2000, q= 2,5%, h= 0,75, b=1,5

$$\frac{v^2}{19620} \times (0,73125) \leq 0,76875$$

Vgp7 = 517,03 km/h

5.2. Metoda određivanja graničnih brzina

Da bi se poboljšali uvjeti stabilnosti, u zavojima se cesta naginje k centru zavoja, i taj poprečni nagib kolnika povećava stabilnost prolaza vozila. Ako su bočne sile velike, a sila prijanjanja na kolniku nedovoljna, što je slučaj npr. Na klizavom kolniku, one mogu da nadvladaju silu vođenja vi dolazi do bočnog klizanja vozila. Po pravilu, do klizanja ne dolazi na obje osovine istovremeno, a to je u velikoj mjeri zavisno od rasporeda težine u vozilu, vrste pogona, stanja pneumatika, konstrukcije vješanja, ogibljenja i drugih faktora [14].

5.2.1. Granično-minimalna brzina kretanja vozila s obzirom na prevrtanje i zanošenje prema unutrašnjosti krivine

U zavojima s poprečnim nagibom moguće je prevrtanje vozila prema unutrašnjosti krivine pri malim brzinama (slika 21). Graničnu vrijednost minimalne brzine vozila s obzirom na prevrtanje prema unutrašnjosti krivine određujemo u sljedećem izrazu:

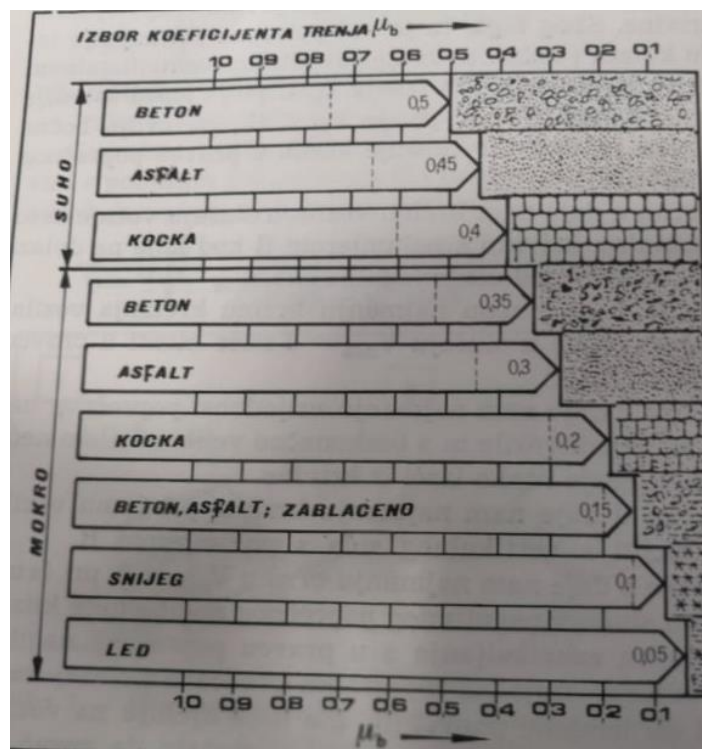
$$V_{\text{prev}} = \sqrt{\frac{g \times R \left(\text{tg} B - \frac{B \text{tr}}{2ht} \right)}{\frac{B \text{tr}}{2ht} - \text{tg} B + 1}} \quad [\text{m/s}] \quad [25]$$

5.2.2. Kretanje vozila u krivini s poprečnim nagibom kolnika s obzirom na zanošenje i prevrtanje

Grafičnu brzinu kretanja vozila u horizontalnoj krivini s poznatim polumjerom R i poprečnim nagibom B – određujemo po slijedećem izrazu:

$$V_{zan} = \sqrt{g \times R \times \frac{\sin B + \mu_B \times \cos B}{\cos B - \mu_B \times \sin B}} \quad [\text{m/s}] \quad [26]$$

μ_B - koeficijent vrijednosti trenja



Slika 5.4. Koeficijent srednjeg trenja μ_B
Izvor: [4]

Na slici 5.4. prikazane su vrijednosti bočnog koeficijenta trenja s obzirom na vrstu i stanje cestovnih površina. Potrebno je istaći da na izbor vrijednosti koeficijenta trenja μ_B utječe više različitih elemenata kao što su: kut skretanja, brzina skretanja, izvježbanost vozača i drugi elementi [14].

6. ZAKLJUČAK

Kretanje vozila u zavoju predstavlja drugačije uvjete kretanja nego u pravcu. Propisani prometno-tehnički elementi ceste projektirani su kako bi se osigurala minimalna a sigurnost međutim potrebno je težiti što većoj sigurnosti u kretanju vozila po cesti. Zbog loše preglednosti i prepreka na cesti dešava se da procjena vožnje u zavoju bude zahtjevnija a samim time se povećava i broj prometnih nesreća u zavoju, a na to još mogu utjecati: odluke i percepcija vozača u vožnji, cesta u lošem stanju, neispravno vozilo, okolina te incidentni čimbenici.

Kako bih poboljšali sigurnost vožnje u zavoju potrebno je primjenjivati prometno oblikovne elemente poprečnog profila ceste u zavojima znatno većim od minimalnih koji se sada primjenjuju u praksi. Pri tome važno je primjenjivati i optimalne elemente prijelaznih krivulja između pravca i zavoja, te proširenja prema unutarnjoj strani radijusa zavoja. Što je veći radijus zavoja teže dolazi do nestabilnog kretanja vozila. Poprečni nagib smanjuje djelovanje centrifugalne sile koje se pojavljuje izlaskom iz gibanja po putanji pravca, pa dobro postavljeni poprečni nagib može smanjiti mogućnost promjene vozila iz stabilnog kretanja u nestabilno.

Stabilnost vozila u zavoju uvjetovana je granicom gdje ono prelazi u nestabilno kretanje, tu granicu nazivamo graničnom brzinom a posljedica prijelaza u nestabilno kretanje vozila je zanošenje-klizanja vozila ili prevrtanje vozila. Za osobne automobile uvijek će prije doći do zanošenja-klizanja dok za teretna vozila to nije slučaj s obzirom na njihovu visinu težišta i masu vozila. Vrlo bitan faktor je koeficijent prijanjanja f_{2d} i koeficijent vrijednosti trenja μ_B koji zapravo opisuju prijanjanja gume odnosno pneumatika uz kolnik, stanje kolnika te u kakvim se vremenskim uvjetima radi(suho, mokro, poledica).

Određivanje graničnih brzina kretanja vozila u zavoju bitan je čimbenik provjere sigurnosti prometnice jer razlike između projektne i računске brzine te granične brzine trebaju biti velike kako bih dodatno osigurali sigurnost prometovanja tom promatranom trasom ceste.

Primjenom navedenog znatno bi se povećala sigurnost cestovnog prometa na cestama u Republici Hrvatskoj.

LITERATURA

Knjige:

- [1] Vesna Cerovac, Tehnika i sigurnost prometa, Zagreb, 2001
- [2] Legac Ivan, Cestovne prometnice 1, Zagreb, 2006
- [3] Božičević Josip, Topolnik Dražen, Infrastruktura cestovnog prometa, Zagreb, 1996

Znanstveni članci:

- [4] Rotim, F.: Elementi za određivanje granične brzine pri kretanju motornog vozila u krivini. Ceste i mostovi, 1981, 10.

Mrežni izvori na internetu:

- [5]<https://www.prometna-zona.com/pojmovi-cestovnog-prometa/>
(pristupljeno: lipanj 2019.)
- [6]<https://www.prometna-zona.com/rubni-i-razdjelni-trakovi/>
(pristupljeno: lipanj 2019.)
- [7]<http://www.propisi.hr/print.php?id=14162>
(pristupljeno: lipanj 2019.)
- [8]<https://www.prometna-zona.com/pojmovi-gradskog-prometa/>
(pristupljeno: lipanj 2019.)
- [9]<https://www.prometna-zona.com/rubni-i-razdjelni-trakovi/>
(pristupljeno: lipanj 2019.)
- [10]https://hr.wikipedia.org/wiki/Prometna_traka
(pristupljeno: srpanj 2019.)
- [11]<https://mup.gov.hr/pristup-informacijama-16/statistika-228/statistika-mup-a-i-bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/283233>
(pristupljeno: srpanj 2019.)
- [12]<http://www.propisi.hr/print.php?id=7519>
(pristupljeno: srpanj 2019.)
- [13]https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/nider_i_eve_tablice_1553505214258.pdf
(pristupljeno: kolovoz 2019.)
- [14]<https://www.citroen.com.ar/autos/citroen-c-elysee/configurador/colores-y-equipamientos/colores.html>
(pristupljeno: kolovoz 2019.)

POPIS TABLICA

Tablica 1. Širina prometnih trakova na jednotračnim cestama.....	9
Tablica 2. Širina prometnih trakova na dvotračnim cestama.....	10
Tablica 3. Širina rubnih trakova	11
Tablica 4. Širina bankine.....	11
Tablica 5. Širina razdjelnog traka	13
Tablica 6. Prometne nesreće od 2014.-2018. godine u Hrvatskoj.....	15
Tablica 7. Broj poginulih na hrvatskim cestama	16
Tablica 8. Nastradale osobe na hrvatskim cestama.....	21
Tablica 9. Veličina R za zavoje bez prijelaznica.....	29
Tablica 10. Veličine bočnog udara (s)	30
Tablica 11. Najveći nagib prijelazne rampe $L_R(i_{maks})$	31
Tablica 12. Zaustavna preglednost P_z za razine V (pri $s = 0\%$)	33
Tablica 13. Uzdužni nagib s_{max} [%].....	37
Tablica 14. Odnos računске brzine(V_r) i najmanjeg polumjera zavoja R_{min} [m]	40
Tablica 15. Vrijednost koeficijenta $K_p=f(fr, V_r)$	43
Tablica 16. Dopušteni protunagibi ($-q$) iznad iznosa R_0 [m].....	44
Tablica 17. Proračunski elementi	49
Tablica 18. Proračunski elementi	51

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Odnos brzine sporoga vozila i duljine uzdužnog nagiba.....	14
Slika 3.1. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2014. godini	17
Slika 3.2. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2015. godini	18
Slika 3.3. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2016. godini	19
Slika 3.4. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2017. godini	20
Slika 3.5. Prometne nesreće po značajkama ceste u 2018. godini	21
Slika 3.6. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2014. godini	22
Slika 3.7. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2015. godini	23
Slika 3.8. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2016. godini	24
Slika 3.9. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2017. godini	25
Slika 3.10. Nastradale osobe u prometnim nesrećama po značajkama ceste u 2018. godini	26
Slika 4.1. Preporučive vrijednosti polumjera susjednih zavoja	32
Slika 4.2. Osiguranje i provjera horizontalne preglednosti P_z (m)	33
Slika 4.3. Zaustavne preglednosti P_z za različite brzine (V) i uzdužne nagibe(s).....	34
Slika 4.4. Proširenje u horizontalnom zavoju za mjerodavna vozila.....	35
Slika 4.5. Proširenje prometnog traka u kružnom luku	35
Slika 4.6. Spiralni zavoj.....	38
Slika 4.7. Kombinirani zavoj.....	38
Slika 4.8. Projektne brzine V_p [km/h] i najveći uzdužni nagib trase s_{max} [%]	39
Slika 4.9. Elementi tlocrtnog zavoja s klotoidom	45

Slika 5.1. Ravnotežno stanje vozila u zavoju.....	46
Slika 5.2. Usjek u zavoju	46
Slika 5.3. Citroën C-Elysée.....	47
Slika 5.4. Koeficijent srednjeg trenja μ_B	54

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prometne nesreće u zavoju u 2014.	17
Grafikon 2. Prometne nesreće u zavoju u 2015.	18
Grafikon 3. Prometne nesreće u zavoju u 2016.	19
Grafikon 4. Prometne nesreće u zavoju u 2017.	20
Grafikon 5. Prometne nesreće u zavoju u 2018.	21
Grafikon 6. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2014.	22
Grafikon 7. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2015.	23
Grafikon 8. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2016.	24
Grafikon 9. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2017.	25
Grafikon 10. Nastradale osobe u prometnim nesrećama u zavoju u 2018.	26