

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

Magdalena Čavka, Bernard Kosovec

**UTJECAJ DIZAJNA ZNAKOVA ZA OZNAČAVANJE  
ZAVOJA NA PONAŠANJE VOZAČA PRILIKOM NAILASKA  
NA OŠTAR ZAVOJ**

Zagreb, 2020.

Ovaj rad izrađen je na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za prometnu signalizaciju pod mentorstvom dr. sc. Darija Babića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

## SADRŽAJ

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....                                       | <b>4</b>  |
| <b>2. ZAVOJI KAO DIO CESTOVNE INFRASTRUKTURE</b> .....     | <b>7</b>  |
| 2.1. Projektiranje cestovnih zavoja .....                  | 7         |
| 2.2. Prometna signalizacija i oprema cestovnih zavoja..... | 11        |
| 2.3. Sigurnost cestovnih zavoja .....                      | 14        |
| <b>3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA</b> .....                  | <b>17</b> |
| 3.1. Istraživačka oprema – simulator vožnje .....          | 17        |
| 3.2. Definiranje scenarija vožnje .....                    | 19        |
| 3.3. Procedura ispitivanja .....                           | 23        |
| 3.4. Ispitanici .....                                      | 24        |
| <b>4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....                     | <b>27</b> |
| <b>5. RASPRAVA</b> .....                                   | <b>38</b> |
| 5.1. Ograničenja istraživanja .....                        | 39        |
| 5.2. Buduća istraživanja .....                             | 40        |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....                                  | <b>41</b> |
| <b>7. ZAHVALE</b> .....                                    | <b>43</b> |
| <b>LITERATURA</b> .....                                    | <b>44</b> |
| <b>SAŽETAK</b> .....                                       | <b>46</b> |
| <b>SUMMARY</b> .....                                       | <b>47</b> |
| <b>POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA</b> .....              | <b>48</b> |
| <b>PRILOZI</b> .....                                       | <b>50</b> |

# 1. UVOD

Sigurnost prometa, a posebno cestovnog prometa, nameće se kao jedan od glavnih izazova modernog društva. Razvojem suvremenog cestovnog prometa dolazi do prometnog zagušenja i povećanja brzina vožnje, glavnih uzroka nastanka prometnih nesreća, te zbog toga prometne nesreće predstavljaju značajan problem društva i jedan su od glavnih uzroka smrti u svijetu. Prema tome, povećanje sigurnosti cestovnog prometa predstavlja sve veći izazov subjektima koji upravljaju cestovnom infrastrukturom. Pozitivan trend pada broja prometnih nesreća u zemljama Europske unije bilježen je do 2013. godine, a nakon toga se svake godine bilježi blagi porast broja prometnih nesreća. U Republici Hrvatskoj je broj prometnih nesreća u posljednje tri godine u blagom padu, te se broj smrtno stradalih osoba u prometu, u periodu od 2018. do 2019. godine, smanjio s 317 na 297. Ipak, trogodišnje i jednogodišnje razdoblje je prekratko da bi se moglo govoriti o značajnijim promjenama. Promatrajući duže vremensko razdoblje, od 2010. do 2019. godine, na cestama se, na području Republike Hrvatske, dogodilo 353 858 prometnih nesreća. Bitno je istaknuti činjenicu, da je u ukupnom broju prometnih nesreća smrtno stradala 3 513 osoba, teško je ozlijeđeno 28 714 osoba, a 124 292 osoba je lakše ozlijeđeno [1]. Iako se broj prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama u posljednje tri godine smanjio, Republika Hrvatska se još uvijek prema Eurostatu nalazi u području visokog broja poginulih osoba promatrano s aspekta broja poginulih na milijun stanovnika.

Ukupnu je štetu prometnih nesreća vrlo teško procijeniti jer ona ne obuhvaća samo troškove liječenja i materijalnu štetu, već uključuje i neizravnu štetu u vidu: smanjenja mogućnosti privređivanja, gubitka radne sposobnosti, nemogućnosti obavljanja svakodnevnih aktivnosti, izravnih reprodukcijских troškova medicinske ili profesionalne rehabilitacije, neizravnih reprodukcijских troškova policije, sudskih procesa, osiguravajućih društava. Procjenjuje se da, ovisno o državama, navedeni gubitci iznose od 1 % pa sve do 3 % bruto domaćega proizvoda [2].

Važno je naglasiti kako se pri projektiranju prometnica često zadovoljavaju samo minimalni propisani uvjeti i standardi vezani za sigurnost na cestama, koji u kombinaciji s preostala dva osnovna čimbenika prometa (čovjek, vozilo) mogu dovest do stvaranja mjesta tj. dijelova ceste na kojima postoji veći rizik od nastanka prometnih nesreća, takozvanih „opasnih mjesta“. Najrizičniji dijelovi ceste na kojima postoji potencijalna opasnost nastanka prometnih nesreća su zavoji i raskrižja. Jedan od načina povećanja sigurnosti cestovnog prometa je ulaganje u infrastrukturu i njezino održavanje. U kontekstu povećanja sigurnosti, poduzimaju

se razne mjere kojima se sprječava nastanak ili se ublažuju posljedice prometnih nesreća. Jedan od troškovno najefikasnijih načina povećanja sigurnosti prometne infrastrukture, pa tako i zavoja, primjena je mjera vezanih za prometnu signalizaciju i opremu.

Prometna signalizacija uvelike može utjecati na povećanje sigurnosti. S obzirom na to da se informacije koje vozač percipira tijekom vožnje u preko 90 % posto slučajeva dobivaju putem vida, važno je da je prometna signalizacija pravilno postavljena, kvalitetna te pravovremena [3]. Prometne je znakove potrebno postaviti tako da ih vozači mogu izdvojiti iz okoline i da im privuku pažnju. Isto tako, prilikom postavljanja treba voditi računa o tome koliko ih vozač u vrlo kratkom vremenu može uočiti i percipirati te izbjegavati nepotrebno nagomilavanje znakova. Istovremeno treba paziti da u određenoj situaciji nije postavljen nedovoljan broj znakova jer se na taj način vozačima mogu uskratiti vrlo bitne informacije koje mogu utjecati na razinu sigurnost prometa.

Upravo zato što su prometna signalizacija i oprema vrlo efikasno rješenje u sprječavanju nastanka prometnih nesreća, a troškovno su najprihvatljivije rješenje, potrebno je pronaći načine za njihovo unaprjeđenje, kako bi se dobila „idealna“ verzija njihovog izgleda. Kako je zadatak prometne signalizacije da upozori, obavijesti i pripremi vozača na situaciju koja mu slijedi na cesti, izrazito je važno da se pronade verzija izgleda prometnog znaka koja najviše utječe na vozača, odnosno svojim izgledom najviše privlači njegovu pozornost te ga pripremi na donošenje odluke i pravovremenu reakciju. Upravo je, zbog svega navedenog, provedeno istraživanje kojim se ispitaio utjecaj dizajna prometnih znakova za označavanje cestovnih zavoja, koji predstavljaju jedan od opasnijih cestovnih segmenata, na ponašanje skupine mlađih vozača, koji su jedna od najrizičnijih skupina vozača.

Istraživanje je provedeno na simulatoru vožnje u ispitnom laboratoriju Zavoda za prometnu signalizaciju, Fakulteta prometnih znanosti. Simulator vožnje pruža sigurnu i isplativu alternativu u procjeni inovativnih mjera, te omogućava visok stupanj kontrole i stvaranje scenarija sličnih onima iz stvarnog svijeta. Cilj ovog rada je, pomoću simulatora vožnje, analizirati utjecaj različitog dizajna prometnih znakova za označavanje oštih zavoja na ponašanje vozača prilikom nailaska na oštar zavoj. Dizajn znakova u ovom kontekstu podrazumijeva primjenu različitih boja podloga znaka i strelice za označavanje smjera zavoja. U tu svrhu analizirane su prometne nesreće koje su se dogodile u zavojima na području državnih cesta u Republici Hrvatskoj kako bi se utvrdila geometrija opasnih zavoja. Identificirani zavoji su zatim rekonstruirani u simulatoru vožnje za potrebe istraživanja.

Kako je za sigurnost cestovnog prometa vidljivost prometnih znakova jedna od važnijih karakteristika, svrha je ovog istraživanja analizirati utjecaj različitog dizajna znakova za

označavanje oštih zavoja na ponašanje vozača prilikom nailaska na iste. Prema navedenom **glavna hipoteza** rada je: „dizajn prometnih znakova za označavanje oštih zavoja utječe na ponašanje vozača, u smislu promjene brzine vožnje, prilikom nailaska na oštar zavoj“. Uz glavnu hipotezu definirane su i **pomoćne hipoteze** rada:

- kombinacija boja fluorescentno zelena podloga – crvena strelica imat će značajniji utjecaj na ponašanje vozača, odnosno smanjenje brzine, u usporedbi s ostalim kombinacijama boja na prometnim znakovima za označavanje oštih zavoja
- utjecaj različitog dizajna na prometnom znaku za označavanje zavoja ovisi o uvjetima dnevne ili noćne vidljivosti
- brzina vožnje prilikom nailaska na oštar zavoj bit će manja u noćnim uvjetima u odnosu na dnevne uvjete

Rad je strukturno podijeljen na šest poglavlja. Glavne hipoteze, svrha i cilj ovog rada predstavljene su u uvodu odnosno prvom poglavlju.

S obzirom na to da se ovaj rad bavi zavojima, kao jednim od najopasnijih cestovnih segmenata, drugim poglavljem ovog rada predstavljene su konstrukcijski elementi cestovnih zavoja, prometna signalizacija i oprema koja se koristi za označavanje zavoja, te je analizirana statistika prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj u periodu od 2010. do 2019. godine kako bi se ukazalo na opasnosti koje cestovni zavoji predstavljaju na cestovnoj mreži Republike Hrvatske.

Ovaj je rad potkrijepljen istraživanjem koje je provedeno na Zavodu za prometnu signalizaciju, Fakulteta prometnih znanosti. Trećim poglavljem, koje donosi metodologiju istraživanja, opisana je korištena oprema, proces nastanka scenarija vožnje i procedura izvođenja ispitivanja. Deskriptivno i statistički su opisani i predstavljene ispitanici koji su sudjelovali u istraživanju.

Četvrto poglavlje prikazuje podatke koji su dobiveni različitim analizama, provedenim statističkim testovima i obradama, a koje su napravljene u svrhu pronalaska optimalnog izgleda prometnih znakova za označavanje cestovnih zavoja, odnosno u svrhu utvrđivanja utjecaja različitih boja na tim prometnim znakovima.

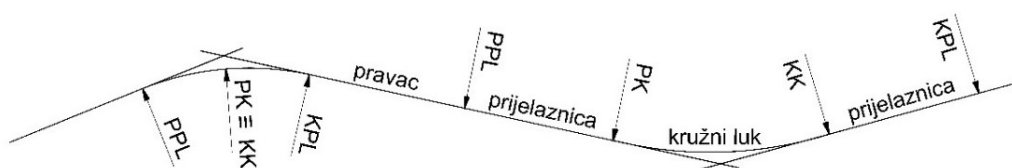
Petim poglavljem iznesena je rasprava koja se odnosi na predstavljene statističke rezultate iz prethodnog poglavlja, dok se u šestom poglavlju iznose glavne spoznaje ovog rada, odnosno zaključuje se istinitost postavljenih hipoteza rada.

## 2. ZAVOJI KAO DIO CESTOVNE INFRASTRUKTURE

Zavoji, zajedno s raskrižjima, čine najopasnije cestovne segmente. Velik broj prometnih nesreća na cestama u Republici Hrvatskoj događa se upravo u zavojevima. Njihova konstrukcija i gradnja zahtijevaju visoku razinu sigurnosti, a njihovo označavanje prometnom signalizacijom i prometnom opremom služi za podizanje razine sigurnosti cjelokupnog cestovnog prometa. U nastavku su detaljnije opisani procesi projektiranja i označavanja cestovnih zavoja prometnom signalizacijom i prometnom opremom te je predstavljena analiza sigurnosti cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj, s naglaskom na analizu prometnih nesreća u cestovnim zavojevima.

### 2.1. Projektiranje cestovnih zavoja

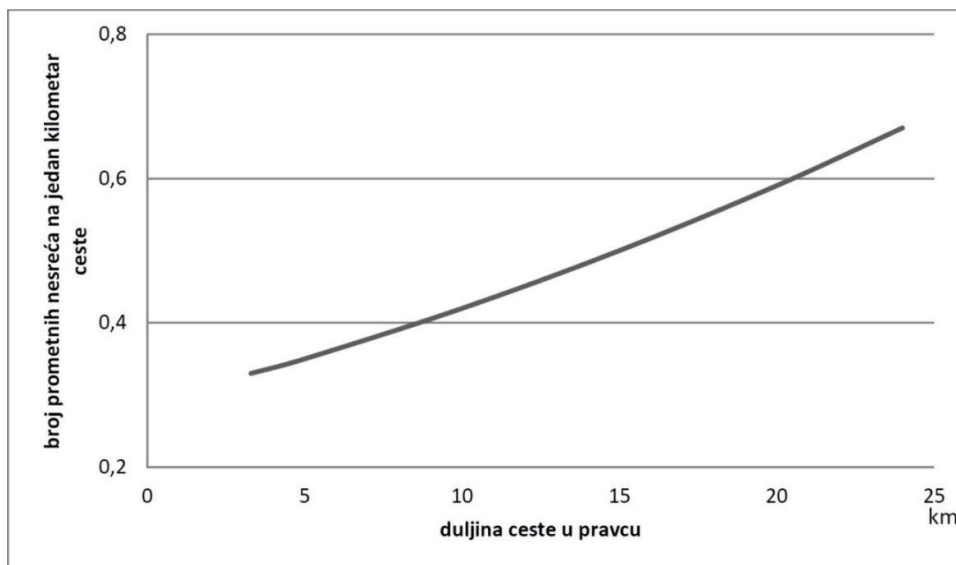
Cesta je svaka javna cesta, ulica u naselju i nerazvrstana cesta na kojoj se obavlja promet [1]. Cesta se u tlocrtu sastoji od pravaca, kružnih lukova i prijelaznica, kako je vidljivo na slici 1. Za ceste namijenjene brzom prometu poželjna je pružena cestovna linija, koja se sastoji od duljih pravaca, duljih prijelaznih zavoja, te kružnih lukova velikog polumjera.



Slika 1. Tlocrtni elementi ceste

Izvor: [4]

Iako se vođenje linije ceste pravicima smatralo kao najbolje rješenje jer je tada put najkraći, pokazalo se da ima velik broj nedostataka zbog objektivnih prometnih i subjektivnih razloga vozača: otežana je procjena udaljenosti između vozila na pravicima, vožnja dugim pravicima zamara vozača i postaje monotona, dugi pravci mogu uzrokovati neharmoničan tok linije ceste budući da se pravac ne može dobro prilagoditi raznim oblicima terena i slično. Također, promatrano sa aspekta sigurnosti u prometu, povećanjem duljine pravca se povećava i broj prometnih nesreća, što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Broj prometnih nesreća u ovisnosti o duljini cestovnog pravca

Izvor [5]

S obzirom na to da liniju ceste nije uvijek moguće voditi cestovnim pravcima, te se zbog prije navedenog to ni ne preporuča, konstruiraju se cestovni zavoji, odnosno koriste se kružni lukovi. Ako se iz pravca neposredno prijeđe u zavoj, na samom se početku zavoja javlja djelovanje centrifugalne sile u obliku trzaja. Jasno je da je takvo djelovanje sile na samu konstrukciju vozila nepovoljno, a i vožnja postaje neudobna za putnike u vozilu. Kako bi se spriječilo takvo djelovanje, između pravca i kružnog luka se umeće prijelazni zavoj – prijelaznica, kao treći tlocrtni element koji čini liniju ceste. Bez izvedene prijelaznice, vozila bi prije ulaska u kružni luk zavoja napuštala prometni trak kojim se kreću, tvoreći vlastiti prijelazni zavoj, nerijetko prelazeći u trak suprotnog smjera. Jasno je da se na taj način ugrožava razina sigurnosti prometa [6].

Promatrajući kružni luk, temeljni tlocrtni element ceste, bitno je naglasiti da ga definira veličina polumjera zakrivljenosti. Ta veličina ovisi o projektnoj brzini, terenskim uvjetima koji vladaju na tom dijelu ceste, o susjednim zavojima i o mogućem odnosu projektne i računске brzine [7]. Vožnja kroz zavoj je otežana ako je polumjer zakrivljenosti zavoja manji, ukoliko je veća brzina vožnje, prometni trak je uzak ili je vozilo kojim se nastoji savladati zavoj, dugo, kao što je slučaj s teretnim vozilima. Iz navedenih razloga, treba težiti tomu da se zavoji, ako je to moguće zbog terenskih uvjeta, projektiraju sa što većim polumjerima zakrivljenosti. Osobito je pogodno, ako je izvedivo, da se desni zavoj nastavlja na lijevi ili obrnuto, budući da to doprinosi boljoj preglednosti ceste [6].



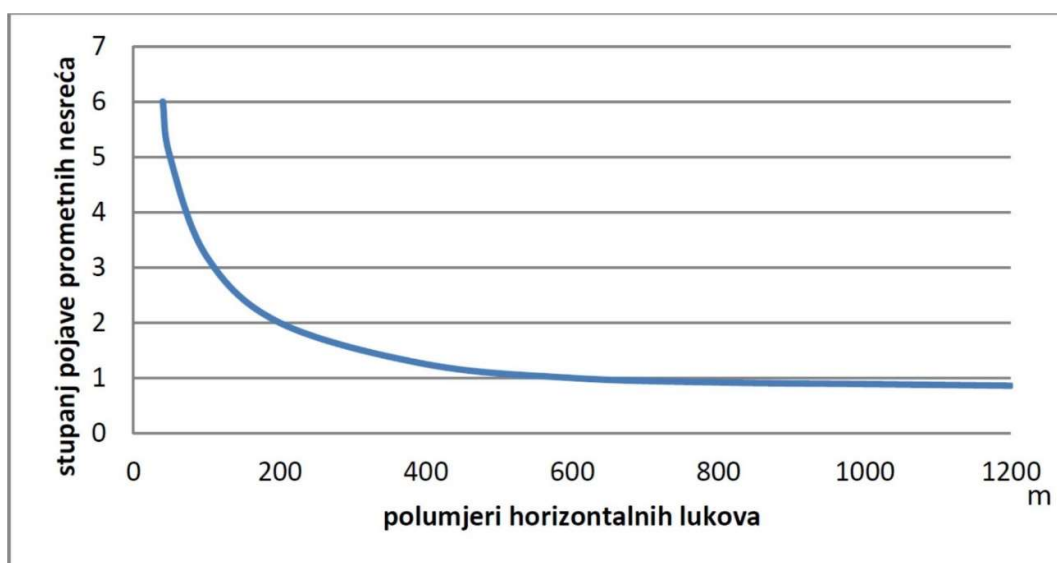
Prilikom proračuna polumjera zavoja potrebno je uzeti u obzir dvije stabilnosti vozila, stabilnost na otklizavanje i stabilnost vozila na prevrtanje. Stabilnost vozila na prevrtanje ovisi o težini vozila i razmaku između kotača, a za uvjet stabilnosti, moment centrifugalne sile prema dodirnoj točki gume i kolnika mora biti manji ili jednak težini vozila. Stabilnost vozila na otklizavanje odnosno zanošenje, govori da je pri smanjivanju polumjera kružnog luka potrebno poprečni nagib kolnika povećati sve do najvećeg dopuštenog, a time je i određena vrijednost minimalnog polumjera zavoja, što je prikazano u tablici 1 [5].

Tablica 1. Minimalni polumjeri zavoja ovisno o projektnim brzinama

|               |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| $V_p$ (km/h)  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  | 130  |
| $R_{min}$ (m) | 25  | 45  | 75  | 120 | 175 | 250  | 350  | 450  | 600  | 750  | 850  |
| $R_G$ (m)     | 110 | 220 | 350 | 535 | 800 | 1100 | 1450 | 1900 | 2350 | 2950 | 3400 |

Izvor: [7]

Istraživanja su pokazala da se broj prometnih nesreća naglo povećava u zavojima čiji je polumjer manji ili jednak 150 metara. Ovisnost stupnja pojave prometnih nesreća o polumjeru zavoja prikazana je na slici 3.



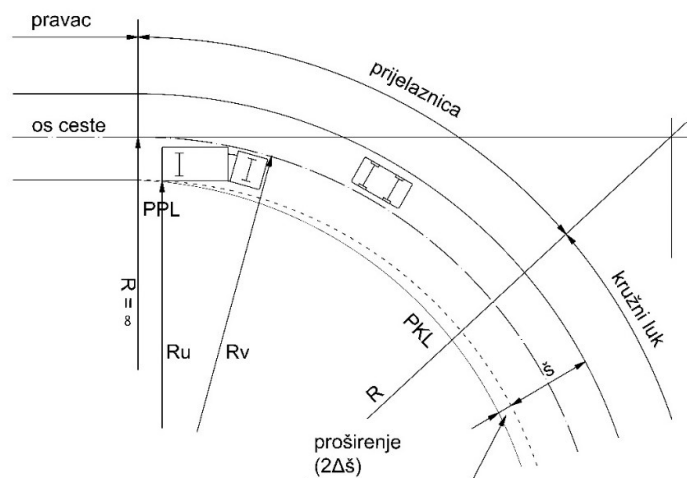
Slika 3. Ovisnost stupnja pojave prometnih nesreća o polumjeru zavoja

Izvor [5]

Bitan element prilikom konstruiranja ceste je i poprečni nagib. Njime se osigurava odvodnja vode s kolnika. U pravilu, poprečni nagib u zavoju izvodi se prema unutarnjoj strani zavoja odnosno u smjeru centra zavoja. Time se umanjuje utjecaj centrifugalne sile, koja nastoji izbaciti vozilo iz zavoja te se osigurava sigurniji prolazak zavojem. Maksimalan dopušteni

poprečni nagib u zavoju iznosi 7 %, a minimalan je jednak poprečnom nagibu u pravcu i iznosi 2,5 % [7].

Prilikom prolaska vozila kroz zavoj prednji se kotači zakreću te vozilo zauzima veću širinu od one u pravcu. Tragovi stražnjih kotača ne prate tragove prednjih kotača, te opisuju luk manjeg polumjera. Zbog navedenog, potrebno je u zavoju osigurati veću širinu kolnika od širine kolnika u pravcu [6]. Proširenje kolnika se izvodi na unutarnjoj strani zavoja, postupno dužinom prijelaznice sve do pune vrijednosti u kružnom luku, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Proširenje kolnika u zavoju

Izvor: [6]

Prometne je trakove potrebno proširiti ovisno o veličini polumjera tlocrtnog zavoja i mjerodavnog vozila. Mjerodavno vozilo, prema kojem se proširuju prometni trakovi, određuje se na temelju očekivane strukture prometa. Minimalno proširenje u kružnom luku ovisi o ukupnoj širini kolnika i iznosi 0,20 m za širinu kolnika manju ili jednaku šest metara, te 0,30 metara za širinu kolnika veću od šest metara. Za manje vrijednosti proširenje nije predviđeno [4].

Osim poprečnog nagiba, bitno je definirati i uzdužni nagib ceste. On se definira kao nagib nivelete osi kolnika. Niveleta se sastoji od pravocrtnih nagiba, odnosno uspona i padova trase te kružnica na mjestima prijeloma nagibnih pravaca. Maksimalan uzdužni nagib ovisi o razredu ceste, odnosno o projektnoj brzini te konfiguraciji terena, a očitava se prema tablici 2.

Tablica 2. Najveći uzdužni nagib nivelete

| Projektna brzina<br>Vp (km/h) | Najveći uzdužni nagib $s_{max}$ (%) |           |           |           |           |           |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                               | Autocesta                           | 1. razred | 2. razred | 3. razred | 4. razred | 5. razred |
| $\geq 120$                    | 4                                   |           |           |           |           |           |
| 100                           | 5                                   | 5,5       | 5,5       |           |           |           |
| 90                            | 5,5                                 | 5,5       | 5,5       |           |           |           |
| 80                            | 6                                   | 6         | 6         | 7         |           |           |
| 70                            |                                     | 7         | 7         | 7         | 8         |           |
| 60                            |                                     |           | 8         | 8         | 9         | 10        |
| 50                            |                                     |           |           | 9         | 10        | 11        |
| 40                            |                                     |           |           |           | 11        | 12        |

Izvor: [7]

Zbog svega što je potrebno uzeti u obzir prilikom konstruiranja cestovnih zavoja, jasno je da je njihova konstrukcija i gradnja veoma zahtjevan proces te da je bitno poštovati sva sigurnosna mjerila koja su propisana za konstruiranje i gradnju kako bi se osigurala visoka razina sigurnosti te kako bi se na taj način doprinijelo podizanju ukupne razine sigurnosti cestovnog prometa.

## 2.2. Prometna signalizacija i oprema cestovnih zavoja

Prometna signalizacija, odnosno prometni znakovi i oznake na kolniku te prometna oprema uvelike mogu doprinijeti povećanju razine sigurnosti prometa. S obzirom na to da se informacije koje vozač percipira tijekom vožnje u preko 90 % posto slučajeva dobivaju putem vida, važno je da je prometna signalizacija jasna i čitljiva, vidljiva, te postavljena u odgovarajućem opsegu [3]. Stoga je važnost prometne signalizacije u tome da vozač u pravom trenutku uoči i prikupi informacije koje mu pružaju prometni znak ili oznaka na kolniku.

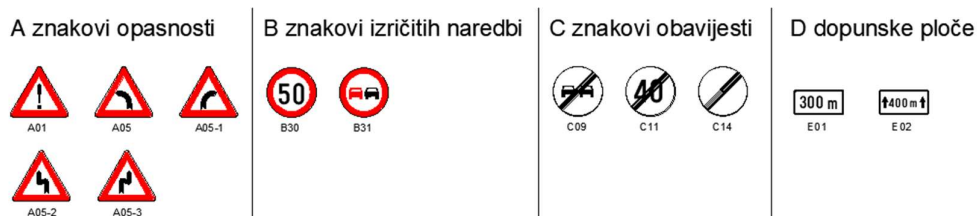
Najvažniji prometni znakovi za označavanje zavoja su znakovi opasnosti jer oni označavaju dio ceste ili mjesto na kojem sudionicima u prometu prijeti opasnost, što zavoj upravo i je. Takvi se znakovi u pravilu postavljaju na udaljenosti 150 do 250 metara ispred zavoja. Znakovi opasnosti koji se odnose na opasne zavoje su A01 (označava blizinu dijela ceste ili mjesta na cesti na kojem sudionicima u prometu prijeti opasnost, izvode se uz dodanu dopunsku ploču), A05, A05-1, A05-2, A05-3 (označavaju približavanje zavojima ili zavojima koji su opasni po svojim osobinama ili zbog nedostataka horizontalne preglednosti [8]).

Znakovi se mogu postaviti i na udaljenosti manjoj od 150 m ispred zavoja ako to zahtijevaju okolnosti na dijelu ceste na kojem se znak postavlja. Isto tako ako se postižu velike brzine ili je smanjena preglednost, znakovi se mogu postaviti na udaljenosti većoj od 250 m

ispred zavoja. Za takve znakove, moraju biti pridružene odgovarajuće dopunske ploče na kojima se označava udaljenost od opasnog mjesta zbog kojeg se znakovi postavljaju, a najčešće su to znakovi E01 i E02 [8].

Prije opasnih zavoja često se postavljaju i znakovi izričitih naredbi, najčešće znakovi B30 i B31, koji predstavljaju ograničenje brzine i zabranu pretjecanja svih motornih vozila, osim mopeda i motocikala bez prikolice [8].

Nakon opasnih zavoja, a ako to okolnosti dopuštaju, postavljaju se znakovi obavijesti koji predstavljaju prestanak važenja naredbi izrečenih prethodno postavljenim znakovima izričitih naredbi te su to najčešće znakovi C09 i C11 kojima se označava prestanak zabrane pretjecanja svih motornih vozila, osim motocikala bez prikolice i mopeda te prestanak ograničenja brzine. U određenim se situacijama postavlja i prometni znak C14 koji označava prestanak svih zabrana na toj cesti [8]. Prometni znakovi koji se postavljaju prije i nakon zavoja prikazani su na slici 5.



Slika 5. Najčešći prometni znakovi za označavanje cestovnih zavoja

Izvor: [8]

Na nepreglednim cestama ili na cestama na kojima je dopuštena veća brzina vožnje te u drugim slučajevima u kojima postoji opasnost da vozač iznenada i nepripremljen naiđe na opasan zavoj na cesti, između znaka opasnosti postavljenog na propisanoj udaljenosti i opasnog zavoja na cesti može se dodati jedan ili više istih znakova, uz koji će se postaviti i dopunske ploče s naznakom udaljenosti do opasnog zavoja.

Najčešće korištena prometna oprema u zavojima su K10 i K10 - 1 ploče koja označavaju zavoj na cesti sa smjerom usmjeravanja na desno ili na lijevo. Ploče se postavljaju na mjestu na kojem počinje oštar zavoj te u samom zavojima. Izrađuju se u dimenzijama 1500 x 500 mm (K10), 500 x 500 mm ili 750 x 750 mm (K10-1) s koeficijentom retrorefleksije najmanje razreda RA2. Za označavanje posebno opasnog zavoja na cesti sa smjerom usmjeravanja na desno ili lijevo koriste se ploče K11 i K11-1. Propisane dimenzije znakova su jednake kao i kod znakova K10 i K10-1, a razlikuju se samo u boji, odnosno koeficijentu retrorefleksije koji kod ovih ploča mora biti najmanje razreda RA3. Ukoliko u zavojima postoje bočne zapreke, postavljaju se ploče

K12, K12-1, K12-2 ili K12-3 koje označavaju mjesto bočnog smanjenja profila ceste [8]. Oprema za označavanje zavoja prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/2019), prikazana je na slici 6.



Slika 6. Oprema za označavanje zavoja

Izvor: [8]

Sva navedena prometna oprema služi prevenciji da se ne dogodi prometna nesreća, a ukoliko se prometna nesreća ipak dogodi u zavoju, važnu ulogu imaju zaštitne odbojne ograde. To su tehničke sigurnosne konstrukcije kojima je osnovna svrha spriječiti izlijetanje vozila s kolnika, odnosno zadržati vozila skrenuta s kolnika. Zaštitne odbojne ograde mogu biti izrađene od različitih materijala kao što je čelik, beton, drvo, PVC, pocinčani lim i slično. Zaštitna odbojna ograda postavlja se tako da je plašt ograde udaljen minimalno 0,50 metara od ruba kolnika, osim u slučajevima ugradnje ograda uz rub kolnika kada je odvodnja izvedena rubnjakom ili odvodnim kanalom. U tim se slučajevima ograda postavlja na način da je plašt ograde u ravnini s rubnjakom odnosno rigolom. Gornji rub elastične zaštitne odbojne ograde ne smije biti na visini manjoj od 0,75 metara, betonske ograde na visini manjoj od 0,80 metara, a privremene na visini manjoj od 0,40 metara iznad ruba kolnika. Zaštitna odbojna ograda mora biti opremljena retroreflektirajućim ili svjetlosnim oznakama veličine i razmaka jednako kao i za smjerokazne stupiće, odnosno na desnoj strani u smjeru vožnje oznake crvene boje, a s lijeve strane bijele boje. Za potrebe zaštite motociklista prilikom izlijetanja na opasnim dijelovima ceste za motocikliste na zaštitnu ogradu se postavlja zaštita od podlijetanja [8].

Predmet ovog istraživanja su ploče K10-1 i K11-1, kakve su postavljene u scenariju vožnje, s istom veličinom koja je i propisana, ali s različitim kombinacijama boje kako bi se odredio utjecaj iste.

### 2.3. Sigurnost cestovnih zavoja

Cilj bilo kojeg cestovnog tijela, operatera ceste i projektanta ceste je pružiti najbolju i najsigurniju uslugu za putnike. Izazov projektantima cestovne infrastrukture je pružanje odgovarajuće cestovne konstrukcije znajući da vozač nije savršen operator koji je podložan mentalnim i fizičkim nedostacima koji vode do nesreća. Infrastrukturni sustavi moraju se konstruirati na temelju postojećeg iskustva ceste.

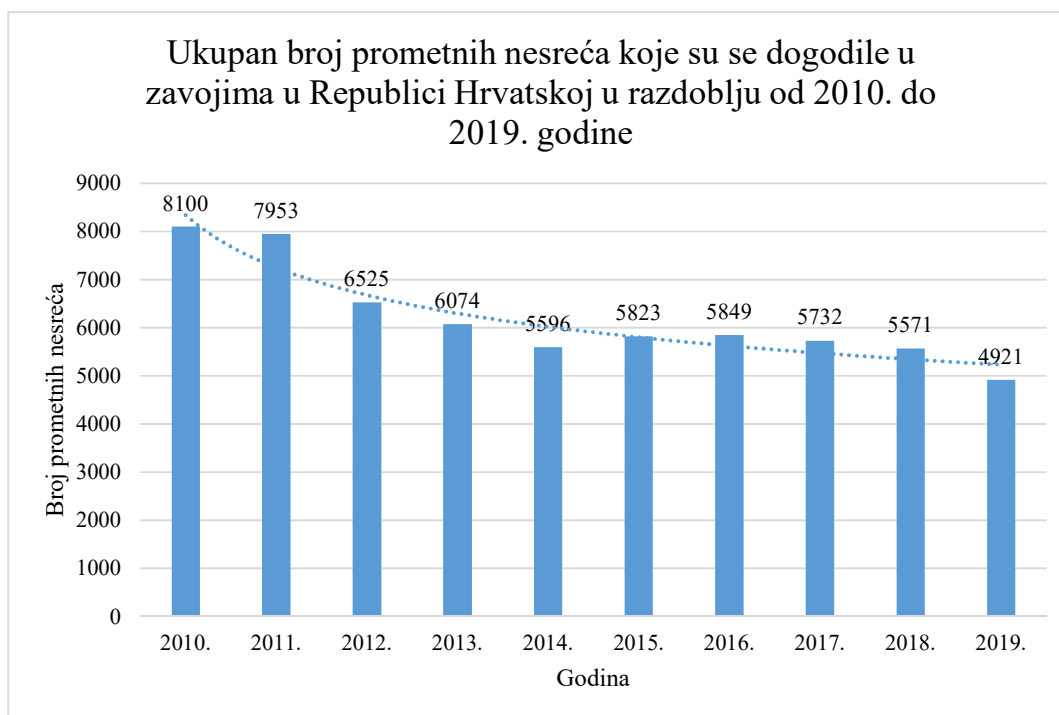
Upravo iz tog razloga, prikupljeni su podaci, od strane Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske, o postojećem iskustvu ceste odnosno o broju prometnih nesreća u zavojima. Utvrđeno je da se u razdoblju od 2010. do 2019. godine dogodilo ukupno 62 144 prometnih nesreća u cestovnim zavojima na mreži cesta Republike Hrvatske, što čini 17,56 % svih prometnih nesreća koje su se dogodile u tom razdoblju. S obzirom na posljedice, ukupno je 1,88 % ili 1 171 nesreća imala smrtne posljedice, 38,96 % ili 24 208 nesreća je za posledicu imala najmanje jednu ozlijeđenu osobu i u 59,16 % ili 36 765 nesreća uzrokovana je materijalna šteta [1]. Ukupan broj prometnih nesreća koje su se dogodile u zavoju i njihova raspodjela prema posljedicama prometne nesreće prikazana je tablicom 3.

Tablica 3. Ukupan broj prometnih nesreća u cestovnim zavojima na mreži cesta Republike Hrvatske u razdoblju od 2010. do 2019. godine

| Godina                     | Broj prometnih nesreća |                       |                       | Ukupan broj nesreća |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|                            | s poginulim osobama    | s ozlijeđenim osobama | s materijalnom štetom |                     |
| 2010.                      | 147                    | 2 983                 | 4 970                 | 8 100               |
| 2011.                      | 149                    | 3 052                 | 4 752                 | 7 953               |
| 2012.                      | 137                    | 2 544                 | 3 844                 | 6 525               |
| 2013.                      | 114                    | 2 397                 | 3 563                 | 6 074               |
| 2014.                      | 103                    | 2 246                 | 3 247                 | 5 596               |
| 2015.                      | 113                    | 2 383                 | 3 327                 | 5 823               |
| 2016.                      | 99                     | 2 291                 | 3 459                 | 5 849               |
| 2017.                      | 105                    | 2 208                 | 3 419                 | 5 732               |
| 2018.                      | 109                    | 2 215                 | 3 247                 | 5 571               |
| 2019.                      | 95                     | 1 889                 | 2 937                 | 4 921               |
| <b>Ukupno:</b>             | <b>1 171</b>           | <b>24 208</b>         | <b>36 765</b>         | <b>62 144</b>       |
| <b>Prosječno godišnje:</b> | <b>120</b>             | <b>2 421</b>          | <b>3 677</b>          | <b>6 214</b>        |

Izvor: [1]

Ako se promotri ukupan broj prometnih nesreća u zavojima kroz određeni vremenski period od 2010. do 2019., može se zaključiti da je nakon 2010. godine zabilježeno kontinuirano smanjenje broja prometnih nesreća sve do 2014. godine, zatim je do 2016. godine zabilježen blagi rast broja prometnih nesreća, a nakon 2016. je vidljiv trend pada broja prometnih nesreća. Linija trenda rasta broja prometnih nesreća vidljiva je na grafikonu 1.



Grafikon 1. Ukupan broj prometnih nesreća u zavojima u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2009. do 2019. godine

*Izvor: [1]*

Najveći broj prometnih nesreća koje su se dogodile u zavojima direktno se ili indirektno odnosi na čovjeka kao krivca. Brzina je faktor koji doprinosi u najznačajnijem postotku kobnim nesrećama, a nerijetko se primjećuje da se prometne nesreće koji se odnose na brzinu događaju u zavojima, gdje su vozači podcjenjivali brzinu vožnje i ušli u zavoj nesigurnom brzinom. Prilikom vožnje kroz zavoj, pogreške vozača međusobno su povezane s tri problema, a to su nedostatak pozornosti vozača, pogrešna percepcija brzine i zakrivljenost te loše pozicioniranje traka, a vidljivi su na slici 7.

Cesta kao čimbenik ima ulogu osigurati vozaču sigurni prolazak kroz zavoj, a znakovi upozorenja, opazajne mjere i postupci mogu smanjiti pogreške vozača i poboljšati kontrolu vozila. Među značajkama zavoja koje uglavnom utječu na smanjenje sigurnosti se ubrajaju mali radijusi zavoja, uski kolnički trakovi i smanjena preglednost koja ograničava vozačevu

sposobnost da predvidi tijek puta i, u skladu s tim, povećava neizvjesnost i vodi do pogrešaka u vožnji, posebno u uvjetima korištenja neprilagođene brzine i putanje za prijelaz krivulje.



Slika 7. Prikaz potencijalne opasnosti u zavoju zbog lošeg pozicioniranja

*Izvor: [9]*

Jedan od kriterija koji definira cestovni zavoj je, kako je već spomenuto, njegov radijus. Prema EuroRAP metodologiji zavoji se dijele na vrlo oštar, oštar, umjeren i lagani zavoj [10]. Uzimajući u obzir velik broj prometnih nesreća s teško ozlijeđenim ili poginulim osobama, brzinu neprimjerenu uvjetima na cesti kao najzastupljeniju okolnost nastanka prometne nesreće te vrlo male radijuse zavoja koji prednjače po broju prometnih nesreća jasno je da se mjere koje bi trebalo provesti moraju odnositi na podizanje razine sigurnosti prometa u zavojima. S obzirom na to da povećanje radijusa zavoja, kao jedno od rješenje, nosi sa sobom građevinske radove, a time i velike financijske troškove, nameće se zaključak da je drugo moguće rješenje prilagođavanje brzine vozila koja nailaze na zavoj. To je moguće postići postavljanjem odgovarajuće prometne signalizacije koja bi na vrijeme upozorila vozače o situaciji ispred vozila i tako im omogućila pravovremenu reakciju.



### **3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA**

Kako je navedeno kroz prethodna poglavlja, na ukupnu sigurnost cestovnog prometa utječu tri glavna čimbenika, a to su čovjek, vozilo i cesta. Iako ljudski faktor ima najveći utjecaj na sigurnost prometa, bitno je napomenuti da nedostaci vezani uz samo cestu i njezinu okolinu mogu bitno utjecati na ponašanje sudionika u prometu te njihovo pravovremeno i adekvatno reagiranje. S obzirom da zavoji predstavljaju rizične lokacije za sigurnost prometa, cilj ovog rada je istražiti na koji način će različite boje prometnih znakova za označavanje zavoja utjecati na ponašanje mladih vozača prilikom nailaska i prolaska kroz opasan zavoj u dnevnim i noćnim uvjetima.

Bitno je naglasiti, s obzirom na to da je prometni sustav dinamičan i stohastičan, da se provođenje ovakve vrste istraživanja u stvarnom prometnom sustavu i u realnim uvjetima ne preporuča zbog visoke razine zahtjevnosti i opasnosti, te velikih financijskih troškova. Zato se, za ovakvu vrstu istraživanja, preporučuje provođenje istraživanja na simulatorima vožnje koji vjerodostojno simuliraju stvarne uvjete prometnog sustava, sigurni su za sudionike, a i troškovi provođenja su znatno niži.

U nastavku je opisana korištena istraživačka oprema, definirana je procedura ispitivanja te su prikazani značajni podaci o ispitanicima koji su sudjelovali u istraživanju.

#### **3.1. Istraživačka oprema – simulator vožnje**

Simulatori vožnje predstavljaju uređaje koji cjelokupni prometni sustav donose virtualnim putem, uz veliku razinu vjerodostojnosti. Od ukupno tri osnovna čimbenika prometnog sustava, a koji utječu na nastanak prometne nesreće, simulatorom vožnje predstavljaju se dva, a to su vozilo i cesta sa svojom okolinom. Vožnja koja se ostvaruje uporabom simulatora stvara dojam stvarnog prometnog sustava te se zbog toga navedeni uređaji smatraju najboljim načinom za provođenje istraživanja i prikupljanje podataka uz zanemariv rizik za ispitanike.

Simulatori su svoju prvotnu primjenu pronašli u zrakoplovstvu, gdje su se koristili za obuku pilota. Veliki troškovi koje prate visok rizik i opasnost za pilote početnike, predstavljali su idealnu priliku za uvođenje simulatora vožnje za pilote u procesu obuke. Sljedeća prometna grana koja je pronašla primjenu simulatorima je željeznica, gdje su simulatori služili kako za obuku novih kadrova, tako i za testiranja već postojećeg radnog kadra. S obzirom na intenzivniji razvoj cestovnog prometa, izgradnju cestovne infrastrukture ali i usavršavanje cestovnih vozila, javila se potreba i za uvođenjem simulatora u tu granu prometa. Simulatori su prvi puta primijenjeni za ispitivanje vožnje na autocesti 50-ih godina dvadesetog stoljeća, dok su 60-ih

godina svoju primjenu pronašli u raznim područjima cestovnog prometa te je njihova upotreba u sve većem porastu [11, 12].

Kroz svoj razvoj, simulatori su prošli nekoliko različitih izvedbi, stoga je moguće razlikovati simulatore koji su se oslanjali na filmske projekcije i korištenje konstrukcije tijela automobila, ali i simulatore koji koriste naočale za virtualnu stvarnost (VR naočale), LCD monitore ili pokretnu podlogu koja omogućuje pokretanje vozila u tri smjera, radi što vjerodostojnijeg prenošenja stvarnog prometnog sustava u simulaciju.

Neke od najbitnijih prednosti simulatora vožnje očituju se u tome što je pomoću njih moguće ispitati izvedbu vozača, testirati različite utjecaje na čovjeka iz područja psihologije, kao na primjer fobije i tjeskoba prilikom vožnje ili pak testirati utjecaj alkohola i droge u vožnji, na siguran način. Putem simulatora vožnje moguće je provoditi i obuku kandidata u autoškolama, bez opasnosti po kandidata i ostale sudionike u prometu. Zbog svega navedenog, jasno je da su simulatori vožnje izrazito praktični i sigurni istraživački instrumenti koji mogu pomoći u podizanju razine sigurnosti cestovnog prometnog sustava [11, 12].

Pri provođenju ovog istraživanja korišten je statični simulator tvrtke Carnetsoft B. V., koji se može vidjeti na slici 8. Simulator se sastoji od vozačkog dijela, kojeg čini sjedalo s pedalama, upravljačem i mjenjačem te od tri zaslona koja su međusobno povezana. Zaslone su veličine 30" s rezolucijom 5760x1080, te služe za prikazivanje scenarija vožnje, koji je opisan u idućem potpoglavlju. Zaslone omogućuju prikaz stvarnosti od 210° okoline koja se prati preko šest kanala (lijevi, srednji i desni pogled zajedno s tri retrovizora). Na srednjem zaslonu prikazuje se i pokazatelj ubrzanja, brojač okretaja, pokazatelj goriva u spremniku, pokazivači smjera, pokazivači osvjetljenja ceste te pokazatelj korištenja parkirne kočnice. Sve to doprinosi što vjerodostojnijem dojmu vožnje.

Simulacijski softver zaslužan za pokretanje simulatora vožnje je Windows 10 (64 bita) na računalu sa 8 GB unutarnje memorije i 4 GB memorije za pohranu.



Slika 8. Prikaz simulatora vožnje korištenog za potrebe provođenja istraživanja

### 3.2. Definiranje scenarija vožnje

Za provođenje ovog istraživanja bilo je potrebno napraviti odgovarajući scenariji vožnje pomoću kojeg će se ispitivati utjecaj boje na znakovima za označavanje oštih zavoja na ponašanje vozača. No prije definiranja samog scenarija bilo je potrebno odrediti, za sigurnost cestovnog prometa, najopasnije zavoje. U tu svrhu prikupljeni su podaci o prometnim nesrećama u posljednje tri godine, odnosno u razdoblju od 2016. do 2018. godine, koje su se dogodile na mreži državnih cesta Republike Hrvatske. Uzeta je mreža državnih cesta jer se na njoj ostvaruje petina ukupnih prometnih nesreća u zavojima s obzirom na njezinu duljinu. Podaci su filtrirani s obzirom na cestovni segment na kojem se dogodila prometna nesreća, te se tako dobila brojka od 1 254 prometne nesreće koje su se dogodile u zavojima državnih cesta Republike Hrvatske.

Primjenom alata QGIS, navedene nesreće su geo referencirane, odnosno pozicionirane na mreži državnih cesta. GIS omogućuje detaljan i točan izbor podataka, filtriranje i prikaz istih, te ima jako široku primjenu u kompleksnim prostornim analizama mnogih područja uključujući i modeliranje prometnih nesreća [13]. Nakon pozicioniranja prometnih nesreća, očitani su radijusi i duljine zavoja na kojima su se te nesreće dogodile. Prosječan radijus zavoja iznosi

138 metara (Min = 10 m, Max = 2 767 m, SD = 140,95 m), a prosječna duljina zavoja iznosi 100,72 metra (Min = 20 m, Max = 562 m, SD = 68,55 m).

Navedena geometrija je prepoznata i u prethodnim studijama kao opasna [14, 15, 16, 17]. Također, prema EuroRAP metodologiji ocjenjivanja sigurnosti cesta, vrlo oštri i oštri zavoji imaju polumjer zakrivljenosti u rasponu do 100 do maksimalno 400 metara [10]. Prema GIS analizi i mapiranju te prema pregledu dosadašnjih istraživanja, rekonstruiran je tipični opasni zavoj za scenarij vožnje.

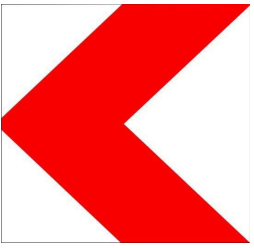
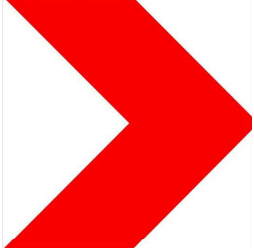
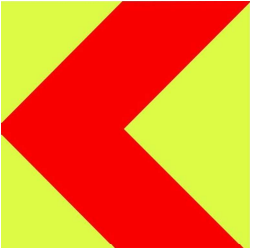
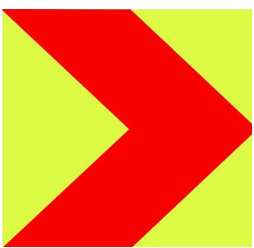
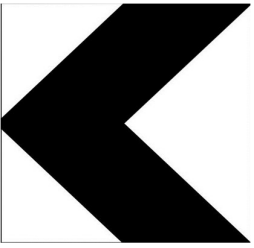

Cjelokupni scenariji sastavljen je od dva dijela. Prvi dio je dug 2 900 m i služio je za „zagrijavanje“ ispitanika, odnosno njihovo upoznavanje s opremom i prilagođavanje na vožnju u simuliranim uvjetima. Vremenski, zagrijavanje je trajalo od dvije do tri minute, ovisno o brzini vožnje kojom su ispitanici vozili.

Drugi dio predstavlja „testni“ dio scenarija, odnosno dio ruralne dvotračne ceste na kojem se nalazilo ukupno šest identičnih zavoja, po tri desna i tri lijeva zavoja. Kako je navedeno u poglavlju 2.1., cestovne zavoje čine kružni luk i prijelaznica. Sukladno ranije spomenutoj analizi geometrije opasnih zavoja te EuroRAP metodologiji, svaki zavoj u scenariju imao je kružni luk radijusa 150 metara te duljinu 110 metara. Radijus prijelaznice iznosio je 200 metara, dok je njena duljina 50 metara. Između pojedinačnih zavoja definirana je ravnica od 800 metara prije nailaska na sljedeći zavoj. Ukupna duljina „testnog“ dijela scenarija iznosi 8 960 metara.

S obzirom na cilj istraživanja, provedena je analiza najčešće korištenih znakova za označavanje opasnih zavoja unutar zemalja EU. Sukladno analizi definirane su tri verzije znaka (Tablica 4.):

- a) bijela podloga – crvena strelica; koristi se u Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Srbiji, Sloveniji i Njemačkoj,
- b) fluorescentno zelena podloga – crvena strelica; koristi se u samo u Hrvatskoj,
- c) bijela podloga – crna strelica; koristi se u Sloveniji, Bosni i Hercegovini, Srbiji, Švicarskoj i Mađarskoj.





Tablica 4. Prometni znakovi za označavanje zavoja postavljeni u scenariju

|               | Znakovi za označavanje<br>lijevog zavoja                                           | Znakovi za označavanje<br>desnog zavoja                                             |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Znak 1</b> |   |   |
| <b>Znak 2</b> |   |   |
| <b>Znak 3</b> |  |  |

Svaki zavoj je bio označen s po četiri znaka za označavanje zavoja na cesti koji su bili raspoređeni duž kružnog luka, jedan od drugog udaljeni 36,5 metara. Navedeni znakovi su bili postavljeni na 1,2 metra te su imali iste dimenzije (500 x 500 mm). Razmak između znakova za označavanje zavoja i visina postave su definirani prema Priručniku o jedinstvenim uređajima za upravljanje prometom (Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)). Dimenzije znakova su određene prema Pravilniku (NN 92/2019).

Prije nailaska na zavoj, vozači su obaviješteni znakom opasnosti A05 ili A05-1 o predstojećem zavoju te znakom B30 o ograničenju brzine u zavoju, koje je za sve zavoje iznosilo 60 km/h. Ograničenje brzine na dijelu ceste u pravcu iznosilo je 90 km/h. Korišteni znakovi su vidljivi u tablici 5.

Tablica 5. Ostali prometni znakovi u scenariju

| A05                                                                               | A05-1                                                                             | B30 (60)                                                                           | B30 (90)                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |

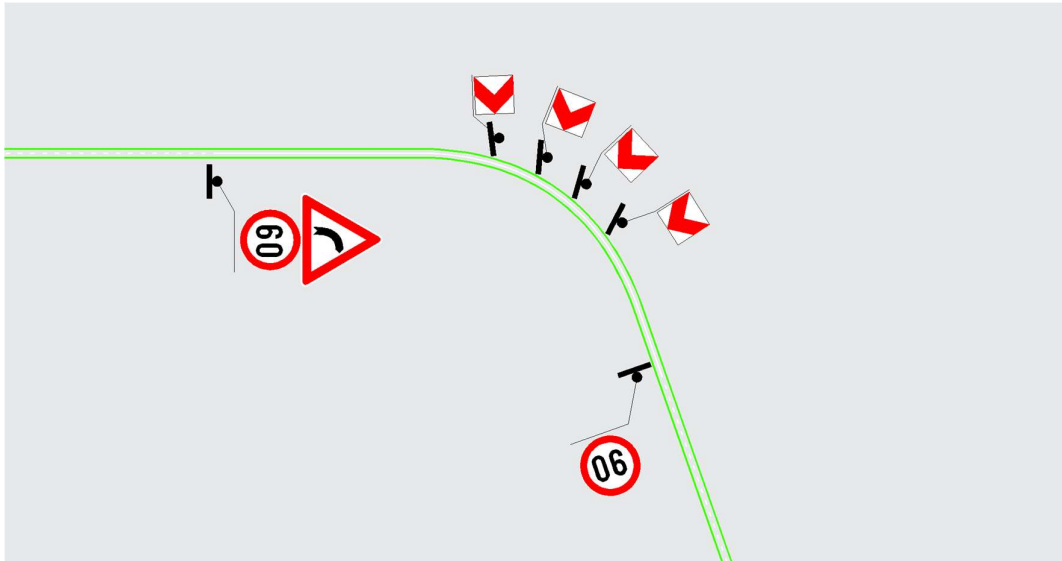
Bitno je naglasiti da su prilikom istraživanja napravljena dva scenarija, apsolutno iste konfiguracije i duljine, a razlika je bila jedino u rasporedu znakova duž trase. Svaki scenariji je napravljen kao verzija dnevne i noćne vožnje, tako da su na ukupan broj ispitanika, slučajnim odabirom podjednako raspoređena zapravo ukupno četiri scenarija. Nasumičnim rasporedom znakova unutar scenarija, te rasporedom scenarija između ispitanika izbjegnuta je mogućnost utjecaja efekta „učenja“ ispitanika tijekom ispitivanja.

Prilikom vožnje na simulatoru, za svakog ispitanika, zabilježeni su podaci o lateralnom položaju vozila te o brzini vožnje. Navedene varijable su mjerene u pet točaka: 1) 300 metara ispred zavoja, 2) 200 metara ispred zavoja, 3) 150 metara ispred zavoja, 4) na početku zavoja te 5) na sredini zavoja.

Tlocrtni prikaz scenarija napravljen u programskom alatu AutoCAD može se vidjeti na slici 9. gdje je žutom bojom označeno je područje zagrijavanja, dok je zelenom bojom označen „testni“ dio, a plavo su označene sporedne priključne ceste. Crne točke predstavljaju pozicije prometnih znakova za označavanje opasnih zavoja. Na slici 10. prikazana je skica desnog zavoja sa znakovima za označavanje zavoja.



Slika 9. Tlocrtna skica scenarija (Žuta boja = područje „zagrijavanja“; Zelena boja = „testni“ dio; Plava boja = priključne ceste; Crne točke = prometni znakovi)



Slika 10. Primjer označavanja zavoja u scenariju

### 3.3. Procedura ispitivanja

Svi ispitanici su prošli istu proceduru ispitivanja, a koja se sastojala od nekoliko dijelova. S obzirom na situaciju vezanu za COVID - 19 ispitanici su dolazili jedan po jedan, u točno definiranim vremenima, na Zavod za prometnu signalizaciju, Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, gdje se provodio laboratorijski (simulatorski) dio istraživanja. Također, sukladno epidemiološkim uputama pri samom ulazu u dvoranu ispitanicima se vršila dezinfekcija ruku, te mjerila temperatura, a nakon provođenja ispitivanja vršila se dezinfekcija opreme.

Na samom početku, ispitanicima su pročitane upute vezane uz istraživanje (*Prilog 1.*). Ispitanicima je naglašeno da se istraživanje provodi sukladno Etičkom kodeksu Fakulteta prometnih znanosti, da će svi prikupljeni podaci biti kodirani te da se neće objavljivati pod njihovim imenom i prezimenom. Prije početka istraživanja ispitanici su bili zamoljeni da pročitaju i ako nemaju neki objektivan razlog za nesudjelovanje potpišu “Suglasnost za sudjelovanje u istraživanju“ (*Prilog 2.*), te popune obrazac kojim se prikupljaju demografski podaci i oni o vozačkom iskustvu (*Prilog 3*), kao i upitnik vezan uz samoprocjenu trenutnog psihofizičkog stanja (*Prilog 4*). Nakon toga je ispitanicima pojašnjeno kako je tijekom vožnje na simulatoru moguća pojava blažih “mučnina” kod malog postotka vozača simulatora (5 %), te da će se u slučaju pojave glavobolje, nelagode, mučnine ili sličnih simptoma istraživanje prekinuti. Nadalje, ispitanicima je pokazana i opisana istraživačka oprema (simulator vožnje). Nakon toga ispitanici su zamoljeni da sjednu za simulator i prilagodite si sjedalo kako im je najudobnije. Ispitanicima je naglašeno, kako se u ovome istraživanju ne ocjenjuje njihova

vožnja što znači da u slučaju “prometnih prekršaja” tijekom vožnje neće biti kažnjavani, niti će biti ikakvih drugih posljedica po pitanju vožnje i da zbog toga tijekom simulirane vožnje voze upravo onako kako bi vozili i u stvarnosti bez ikakvih ustručavanja.

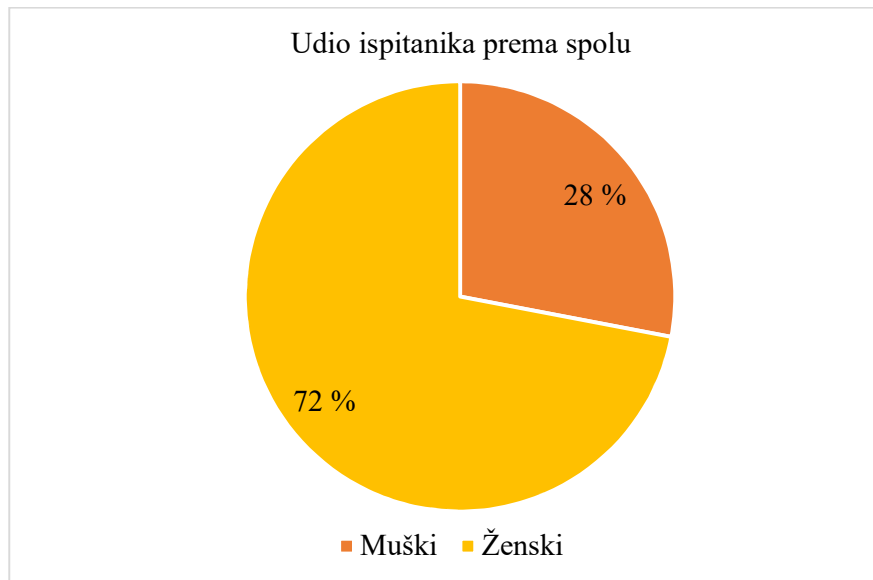
Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, sama vožnja na scenariju se sastojala od dva djela, prvi dio scenarija predstavljao je „zagrijavanje“, odnosno vježbu tijekom koje su se ispitanici prilagođavali na simulator. „Zagrijavanje“ je trajalo nekoliko minuta unutar kojih su slobodno mogli probati naglo ubrzavati, kočiti, skretati lijevo – desno, kako bi dobili što bolji osjećaj simulatora. Mjenjač na simulatoru je automatski te ispitanici nisu morali mijenjati brzine tijekom vožnje. Drugi dio scenarija predstavljao je „stvarnu vožnju“, a o početku su ispitanici bili pravovremeno obavješteni. Tijekom stvarnog scenarija zamoljeni su da voze „prirodno“, odnosno kako je već naglašeno, stilom vožnje kojim inače voze i za koje smatraju da su prikladni ovisno o nadolazećoj situaciji, te da na raskrižjima voze samo ravno. Cilj istraživanja im nije otkriven, kako se na taj način ne bi utjecalo na njihovu vožnju te u konačnici na rezultate istraživanja.

Nakon popunjavanja obrazaca i pripreme, pristupilo se vožnji na simulatoru, koja je prosječno trajala od 12 – 15 minuta po ispitaniku. Po završetku vožnje ispitanici su popunili upitnik koji ispituje opće stanje ispitanika nakon (*Prilog 5.*), u svrhu utvrđivanja razlika između psihofizičkog stanja prije i nakon vožnje na simulatoru, te je tim proces ispitivanja bio završen.

### **3.4. Ispitanici**

Za potrebe istraživanja angažirano je 43 punoljetna ispitanika. Uvjet koji su ispitanici morali zadovoljiti kako bi sudjelovali u istraživanju odnosi se na njihovu starost i na posjedovanje vozačke dozvole. Svi ispitanici su morali biti mlađi od 30 godina i morali su posjedovati vozačku dozvolu B kategorije. Rezultati četiriju ispitanika nisu uzeti u obzir s obzirom da je razlika između „simulator sickness score“ prije i poslije ispitivanja bila veća od 85 percentila svih ispitanika. U konačnici istraživanje je obuhvatilo 39 ispitanika (Tablica 6.), od kojih je 28 (72 %) ženskog spola, a preostalih 11 (28 %) je muškog spola, kako je vidljivo na grafikonu 2.





Grafikon 2. Udio ispitanika prema spolu

Prosječna starost ispitanika iznosi 22,29 godina (Min = 19,31 godina, Max = 25,98 godina, SD = 1,57 godina), dok prosječno vozačko iskustvo iznosi 3,12 godina (Min = 0,897 godina, Max = 6,88 godina, SD = 1,62 godine). Prosječna ocjena kojom su ispitanici ocijenili svoje vozačke sposobnosti iznosi 3,72 u rasponu od jedan do pet (Min = 1, Max = 5, SD = 0,83).

Tablica 6. Pregled ispitanika prema Prilogu 3.

| Broj ispitanika | Spol   | Starost | Dioptriya | Vozačko iskustvo (god.) | Vlastita procjena vozačke sposobnosti | Učestalost vožnje | Uvjeti vožnje |
|-----------------|--------|---------|-----------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------|
| 1               | Ženski | 21.55   | Da        | 2.00                    | 5                                     | 1                 | 0             |
| 2               | Ženski | 22.76   | Da        | 1.84                    | 2                                     | 4                 | 0             |
| 3               | Ženski | 21.55   | Ne        | 2.13                    | 3                                     | 3                 | 0             |
| 4               | Ženski | 21.67   | Ne        | 3.47                    | 5                                     | 1                 | 0             |
| 5               | Ženski | 23.49   | Ne        | 4.76                    | 3                                     | 2                 | 0             |
| 6               | Muški  | 24.89   | Da        | 0.90                    | 5                                     | 1                 | 1             |
| 7               | Ženski | 21.47   | Ne        | 1.28                    | 3                                     | 2                 | 1             |
| 8               | Ženski | 25.98   | Da        | 6.88                    | 1                                     | 4                 | 1             |
| 9               | Ženski | 21.83   | Ne        | 2.19                    | 3                                     | 2                 | 1             |
| 10              | Ženski | 21.29   | Ne        | 2.01                    | 3                                     | 1                 | 0             |
| 11              | Ženski | 21.59   | Ne        | 3.76                    | 4                                     | 1                 | 0             |
| 12              | Ženski | 21.27   | Ne        | 2.93                    | 4                                     | 1                 | 0             |
| 13              | Ženski | 24.52   | Da        | 4.77                    | 4                                     | 1                 | 0             |
| 14              | Ženski | 22.49   | Da        | 2.99                    | 4                                     | 1                 | 0             |
| 15              | Ženski | 21.22   | Da        | 1.03                    | 3                                     | 3                 | 0             |
| 16              | Ženski | 21.34   | Da        | 3.11                    | 4                                     | 1                 | 0             |

|    |        |       |    |      |   |   |   |
|----|--------|-------|----|------|---|---|---|
| 17 | Ženski | 22.51 | Da | 4.32 | 4 | 2 | 0 |
| 18 | Muški  | 22.45 | Da | 1.28 | 4 | 1 | 0 |
| 19 | Ženski | 21.14 | Da | 2.97 | 3 | 4 | 1 |
| 20 | Ženski | 21.46 | Ne | 3.40 | 3 | 3 | 1 |
| 21 | Ženski | 22.11 | Ne | 2.97 | 3 | 4 | 1 |
| 22 | Ženski | 22.86 | Da | 4.45 | 4 | 2 | 1 |
| 23 | Ženski | 23.73 | Da | 5.08 | 4 | 1 | 1 |
| 24 | Ženski | 20.86 | Da | 1.36 | 3 | 3 | 1 |
| 25 | Ženski | 20.95 | Da | 3.09 | 4 | 1 | 1 |
| 26 | Ženski | 22.40 | Ne | 1.03 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | Muški  | 25.34 | Ne | 2.54 | 4 | 2 | 0 |
| 28 | Muški  | 21.03 | Ne | 2.68 | 4 | 2 | 0 |
| 29 | Muški  | 20.63 | Ne | 2.62 | 4 | 2 | 0 |
| 30 | Muški  | 24.70 | Ne | 4.85 | 4 | 1 | 1 |
| 31 | Ženski | 20.13 | Da | 1.38 | 4 | 1 | 1 |
| 32 | Muški  | 23.88 | Da | 5.71 | 4 | 1 | 1 |
| 33 | Muški  | 21.91 | Ne | 3.32 | 5 | 2 | 0 |
| 34 | Muški  | 25.06 | Da | 6.68 | 4 | 2 | 0 |
| 35 | Ženski | 21.21 | Ne | 3.16 | 4 | 1 | 0 |
| 36 | Muški  | 19.31 | Ne | 1.09 | 4 | 3 | 1 |
| 37 | Ženski | 20.36 | Ne | 1.50 | 4 | 3 | 1 |
| 38 | Ženski | 22.40 | Ne | 4.34 | 4 | 3 | 1 |
| 39 | Muški  | 24.03 | Ne | 6.02 | 5 | 1 | 1 |

1 - Svakodnevno; 2 - Par puta tjedno; 3 - Par puta mjesečno; 4 - Par puta godišnje  
0 - Noć; 1 - Dan

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, scenarij se sastojao od šest identičnih zavoja, po tri desna i tri lijeva zavoja, a cilj je utvrditi kako pojedini znakovi za označavanje opasnih zavoja utječu na ponašanje ispitanika (brzinu vožnje i lateralni položaj) u dnevnim i noćnim uvjetima. S obzirom na navedeno, za analizu rezultata korištena je statistička analiza pod nazivom ANOVA ponovljenih mjerenja. ANOVA ponovljenih mjerenja koristi se prilikom analize većeg broja podataka, a sastoj se od zavisnih i nezavisnih varijabli. Nezavisna varijabla se sastoji od kategorija koje se još nazivaju razinama ili srodnim skupinama [18].

ANOVA ponovljenih mjerenja je test kojim se utvrđuje postoje li razlike između sredina povezanih grupa odnosno populacija. Nulta hipoteza ( $H_0$ ) pretpostavlja da su sredine jednake:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

gdje je  $\mu$  = sredina populacije, a  $k$  = broj povezanih grupa odnosno populacija. Alternativna hipoteza ( $H_A$ ) glasi da sredine povezanih populacija nisu jednake (barem jedna sredina je različita od druge sredine):

$$H_A: \text{barem dvije sredine su značajno različite}$$

Da bi mogli provesti ANOVU ponovljenih mjerenja potrebno je ispuniti pretpostavke:

- Prva pretpostavka: zavisnu varijablu treba mjeriti kontinuirano (to su intervalne ili omjerne varijable).
- Druga pretpostavka: nezavisna varijabla mora se sastojati od najmanje dvije kategoričke, „povezane skupine“. Pojam „povezane skupine“ upućuje na to da su u obje skupine prisutni isti ispitanici. Razlog da je moguće imati iste ispitanike u svakoj grupi je taj što je svaki ispitanik mjeren u dva navrata na istoj ovisnoj varijabli.
- Treća pretpostavka: U povezanim skupinama ne bi trebalo biti značajnih netipičnih vrijednosti.
- Četvrta pretpostavka: Raspodjela zavisne varijable u dvije ili više povezanih skupina trebala bi biti približno normalna.
- Peta pretpostavka: Varijance razlike između svih kombinacija povezanih skupina moraju biti jednake (uvjet sfericiteta).

Iz navedenog razloga provedena je deskriptivna statistika zavisnih varijabli (brzina vožnje i lateralni pomak) kod lijevih i desnih zavoja za pet odabranih mjernih točaka, odnosno udaljenosti od zavoja (300m, 200m, 150m prije zavoja, početak zavoja - PZ, sredina zavoja - SZ) te tri najčešća znaka za označavanje opasnih zavoja u dva uvjeta vožnje (noć i dan).

**a) Analize za noćne uvjete (N=20)**

Kako je svaka zavisna varijabla mjerena u lijevom i desnom zavoju, kod pet odabranih udaljenosti i tri vrste znaka ( $2 \times 5 \times 3 = 30$ ), deskriptivna statistika provedena je za 60 varijabli: 30 varijabli brzine i 30 varijabli lateralnog pomaka. Tablični prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e prikazan je u tablici 7.

Tablica 7. Prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e za noćne uvjete

|                                                                                                                                           |                | Lijevi zavoj          |                        | Desni Zavoj   |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|---------------|------------------------|
|                                                                                                                                           |                | <i>Brzina</i>         | <i>Lateralni pomak</i> | <i>Brzina</i> | <i>Lateralni pomak</i> |
| <b>Znak 1</b>                                                                                                                             | 300m           | Neg-Asim<br>Ne-Normal | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 200m           | Neg-Asim<br>Ne-Normal | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 150m           | Neg-Asim              | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Početak zavoja | -                     | Poz-Asim<br>Ne-Normal  | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Sredina zavoja | -                     | -                      | -             | -                      |
| <b>Znak 2</b>                                                                                                                             | 300m           | -                     | -                      | -             | Neg-Asim<br>Ne-Normal  |
|                                                                                                                                           | 200m           | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 150m           | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Početak zavoja | Ne-Normal             | Ne-Normal              | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Sredina zavoja | -                     | -                      | -             | -                      |
| <b>Znak 3</b>                                                                                                                             | 300m           | -                     | -                      | -             | Neg-Asim<br>Ne-Normal  |
|                                                                                                                                           | 200m           | -                     | -                      | -             | Ne-Normal              |
|                                                                                                                                           | 150m           | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Početak zavoja | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | Sredina zavoja | Neg-Asim<br>Ne-Normal | -                      | -             | -                      |
| Poz-Asim – Pozitivna asimetrija rezultata<br>Neg-Asim – Negativna asimetrija rezultata<br>Ne-Normal – Odstupanje od normalne distribucije |                |                       |                        |               |                        |

Iz provedene deskriptivne analize može se zaključiti da se relativni varijabilitet promatranih varijabli sustavno mijenja ovisno o udaljenosti od zavoja na kojoj se mjere brzina i lateralni pomak i to za oba zavoja i za sva tri znaka. Kod brzine vožnje koeficijent varijabilnosti povećava se smanjenjem udaljenosti od središta zavoja, dok je kod lateralnog pomaka navedena varijabilnost najveća 150 m prije zavoja – s tendencijom opadanja kako se odmiče od tih 150 m prema 300 m i prema sredini zavoja. Navedene sustavne promjene varijabiliteta, ovisno o udaljenosti mjerenja brzine i lateralnog pomaka od zavoja, upućuju na

moću heterogenost varijanci po eksperimentalnim uvjetima, a time i narušenost ove pretpostavke ANOVA-e (moću narušavanje sfericiteta). S druge strane, velika većina zavisnih varijabli (83 %) ima normalnu distribuciju. Dvostruko više odstupanja od normaliteta javlja se kod raspodjela zavisnih varijabli mjerenih za lijevi zavoj, a unutar tih odstupanja, dvostruko ih je više za varijablu brzine vožnje. Kod desnih zavoja, sva odstupanja od normalne distribucije vezana su uz varijablu lateralni pomak. Također, većina odstupanja od normaliteta (56 %) promatranih zavisnih varijabli odnosi se na značajnu negativnu asimetriju raspodjela, a samo jedno odstupanje od normaliteta odnosi se na pozitivnu asimetriju.

Gore navedeni zaključci upućuju na to da ako se želi ANOVA - om uhvatiti efekt, odnosno djelovanje vrste znaka na neku od dviju mjera (brzina ili lateralni pomak) tada je, u uvjetima noćne vožnje, statistički najbolji preduvjeti za to kod brzine u desnom zavoju.

### b) Analize za dnevne uvjete (N=19)

Kao i kod noćnih uvjeta, deskriptivna statistika provedena je za 60 varijabli: 30 varijabli brzine (B-varijable) i 30 varijabli lateralnog pomaka (LP). Tablični prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e prikazan je u tablici 8.

Tablica 8. Prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e za dnevne uvjete

|                                                                                                                                           |          | Lijevi zavoj          |                        | Desni Zavoj   |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|------------------------|---------------|------------------------|
|                                                                                                                                           |          | <i>Brzina</i>         | <i>Lateralni pomak</i> | <i>Brzina</i> | <i>Lateralni pomak</i> |
| <b>Znak 1</b>                                                                                                                             | 300m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 200m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 150m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | PočetZav | Poz-Asim              | -                      | Ne-Normal     | -                      |
|                                                                                                                                           | SredZav  | -                     | -                      | Ne-Normal     | -                      |
| <b>Znak 2</b>                                                                                                                             | 300m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 200m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 150m     | Neg-Asim<br>Ne-Normal | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | PočetZav | Neg-Asim<br>Ne-Normal | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | SredZav  | -                     | -                      | -             | Ne-Normal              |
| <b>Znak 3</b>                                                                                                                             | 300m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 200m     | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | 150m     | -                     | Poz-Asim<br>Ne-Normal  | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | PočetZav | -                     | -                      | -             | -                      |
|                                                                                                                                           | SredZav  | -                     | -                      | -             | -                      |
| Poz-Asim – Pozitivna asimetrija rezultata<br>Neg-Asim – Negativna asimetrija rezultata<br>Ne-Normal – Odstupanje od normalne distribucije |          |                       |                        |               |                        |

Kao i kod noćnih uvjeta, relativni varijabilitet promatranih varijabli sustavno se mijenja ovisno o udaljenosti od zavoja na kojoj se mjere brzina i lateralni pomak i to za oba zavoja i za sva tri znaka. Kod brzine vožnje koeficijent varijabilnosti povećava se smanjenjem udaljenosti od središta zavoja, dok je kod lateralnog pomaka najmanji varijabilitet 300m prije zavoja s tendencijom oscilirajućeg rasta prema sredini zavoja. Prethodno navedene sustavne promjene varijabiliteta, ovisno o udaljenosti mjerenja brzine i lateralnog pomaka od zavoja, upućuje na moguću heterogenost varijanci po eksperimentalnim uvjetima, a time i narušenost ove pretpostavke ANOVA - e (moguće narušavanje sfericiteta). Velika većina zavisnih varijabli (88 %) ne odstupa od normaliteta. Tek nešto više odstupanja od normaliteta javlja se kod raspodjela zavisnih varijabli mjerenih za lijevi zavoj, a unutar tih odstupanja, trostruko ih je više za brzinu. Kod desnog zavoja, dva odstupanja od normaliteta vežu se za brzinu, a jedno odstupanje za lateralni pomak. Također, podjednak broj slučajeva odstupanja od normaliteta promatranih zavisnih varijabli odnosi se na značajnu negativnu i pozitivnu asimetriju raspodjela, kao i na druge oblike odstupanja od normaliteta.

Gore navedeni zaključci upućuju na to da ako se želi ANOVA-om uhvatiti efekt odnosno djelovanje vrste znaka na neku od dviju mjera (brzina ili lateralni pomak) tada je, u uvjetima dnevne vožnje, statistički najbolji preduvjeti za to kod lateralnoga pomaka neovisno o smjeru zavoja.

### **c) Zaključak deskriptivne analize**

Iz prikazane analize pretpostavki za ANOVA - u kod dnevnih i noćnih uvjeta vožnje može se zaključiti kako najviše odstupanja od normaliteta pokazuje brzina vožnje u lijevom zavoju, a najmanje brzina vožnje u desnom zavoju. Inferencijalne analize za ispitivanje djelovanja vrste znaka (glavna nezavisna varijabla) na onu zavisnu varijablu koja ima najbolje pretpostavke za provođenje testova, a time i najveću statističku snagu, pokazuju kako je najveća statistička snaga ostvariva za noćne uvjete vožnje.

S obzirom na prethodne zaključke o deskriptivnoj statistici i normalitetu raspodjela zavisnih varijabli u noćnim uvjetima vožnje, a koje oblikuju pretpostavke za provedbu inferencijalnih testova, razvidno je da najbolje pretpostavke imaju mjere brzine u desnom zavoju. Iz navedenog razloga će se eventualno djelovanje nezavisne varijable „vrsta znaka“ i „udaljenost od zavoja“ na vozačevo ponašanje (u ovom slučaju brzina ili lateralni pomak vozila) najlakše očitovati kod mjere brzine u desnom zavoju zbog čega će i daljnja analiza biti provedena upravo na toj zavisnoj varijabli u navedenim uvjetima vožnje.

## 1) ANOVA ponovljenih mjerenja brzine vožnje u desnom zavoju tijekom noćnih uvjeta

Kao što je ranije navedeno, nezavisne varijable su „vrsta znaka“ i „udaljenost od zavoja“ dok je zavisna varijabla brzina vožnje u desnom zavoju tijekom noćnih uvjeta.

Hipoteze koje testira ova ANOVA su slijedeće:

**H0 - 1:** Nema statistički značajnog djelovanja vrste znaka opasnog zavoja na brzinu noćne vožnje u desnom zavoju, neovisno o udaljenosti od zavoja.

**H0 - 2:** Nema statistički značajnoga djelovanja udaljenosti od zavoja na brzinu noćne vožnje u desnom zavoju, neovisno o vrsti znaka opasnog zavoja.

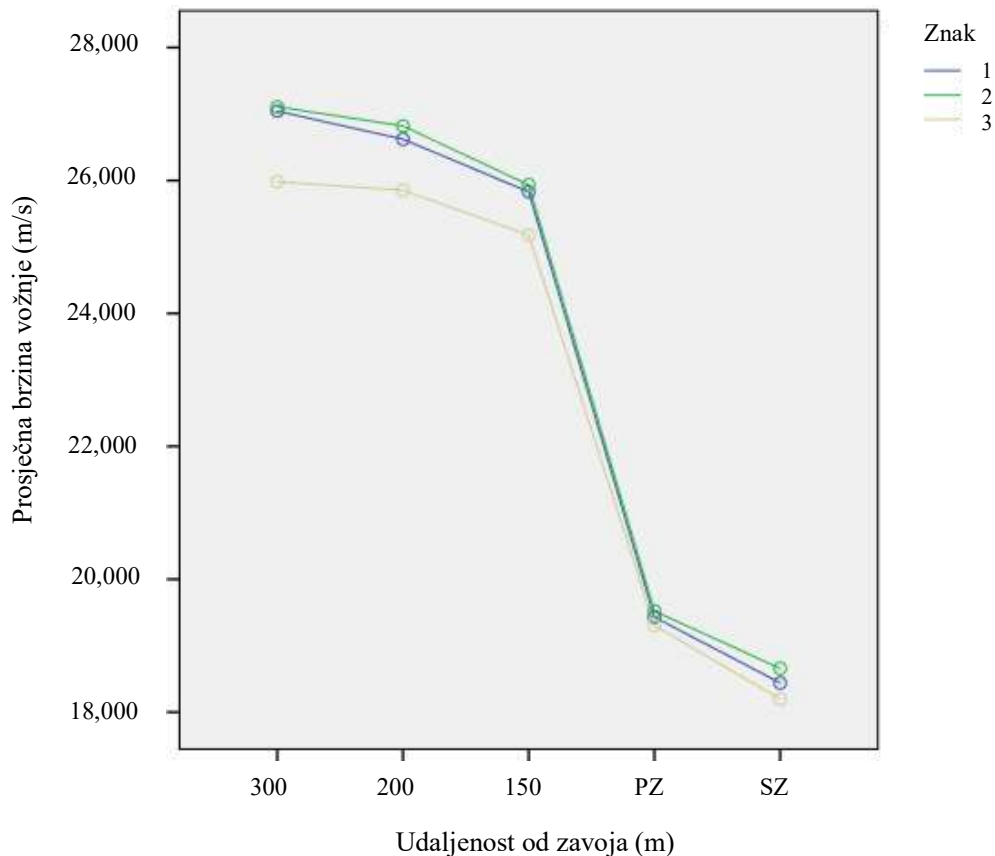
**H0 - 3:** Eventualno djelovanje vrste znaka oštrog zavoja na brzinu noćne vožnje u desnome zavoju podjednako je na svim udaljenostima od toga zavoja.

S obzirom da su narušene pretpostavke za provođenje ANOVA - e, naročito sfericiteta, statistička značajnost je testirana uz primjenu Greenhouse - Geissierove korekcije.

Rezultati ANOVA - e ponovljenih mjerenja pokazuju kako se glavni efekt vrste znaka neovisno o udaljenosti od zavoja (H0-1) nije pokazao statistički značajnim ( $F=1,413$ ;  $df_1=1,475/1,569$ ;  $df_2=28,021/29,810$ ;  $p=0,256 > 0,05$ ). Drugim riječima, niti jedan od tri korištena znaka nije pokazao značajno veće djelovanje na brzinu vožnje u desnom zavoju neovisno o udaljenosti od zavoja.

Glavni efekt udaljenosti od zavoja neovisno o vrsti znaka (H0-2) pokazao se statistički značajnim ( $F=207,926$ ;  $df_1=1,456/1,546$ ;  $df_2=27,668/29,375$ ;  $p<0,001$ ). Drugim riječima, kako se vozač približavao desnome zavoju tako je značajno mijenjao brzinu vožnje neovisno o vrsti znaka što je logično.

Interakcijski efekt vrste znaka i udaljenosti od zavoja (H0-3) nije se pokazao statistički značajnim ( $F=0,695$ ;  $df_1=2,850/3,405$ ;  $df_2=54,144/64,697$ ;  $p=0,552/0,576 > 0,05$ ). Drugim riječima, kako se vozač približavao desnome zavoju tako je značajno mijenjao brzinu vožnje i to podjednako za sva tri znaka. Detaljnijom analizom utvrđeno je kako je smanjene brzine naročito očito između 150 m od zavoja i samog početka zavoja, dok je između svih ostalih točaka vrlo blago. Također, iako nema statistički značajne razlike, najizraženije smanjenje brzine je kod znaka s bijelom podlogom i crnim strelicama kao što je prikazano na grafikonu 3.



Grafikon 3. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka kojim je zavoj bio označen

S obzirom na to da nije moguće sa sigurnošću tvrditi jesu li dobiveni rezultati eventualno posljedica odstupanja od pretpostavki ANOVA-e ponovljenih mjerenja (narušene pretpostavke sfericiteta, prigodno odabran uzorak sudionika), ili konstruktne valjanosti (kvazi)eksperimenta, provedena je također neparametrijska analiza pomoću Friedmanovog testa, u kojoj je jedina nezavisna varijabla vrsta znaka (s obzirom da je to ključna hipoteza).

Ukupno je provedeno pet Friedmanovih testova za svaku mjernu točku, odnosno udaljenost od zavoja. Rezultati navedenih testova su slijedeći:

- (i)  $\chi^2=5,2$ ;  $df=2$ ;  $p=0,074$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 300m od zavoja
- (ii)  $\chi^2=2,8$ ;  $df=2$ ;  $p=0,247$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 200m od zavoja
- (iii)  $\chi^2=1,9$ ;  $df=2$ ;  $p=0,387$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 150m od zavoja
- (iv)  $\chi^2=0,7$ ;  $df=2$ ;  $p=0,705$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na početku zavoja



- (v)  $\chi^2=1,3$ ;  $df=2$ ;  $p=0,522$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na sredini zavoja.

Svih pet Friedmanovih testova jednoznačno su pokazali kako kod svih udaljenosti od desnoga zavoja s promjenom vrste znaka ne dolazi do statistički značajne promjene brzine, premda je najmanja brzina vožnja kod svih udaljenosti od zavoja bila kada je zavoj bio označen znakom s bijelom podlogom i crnim strelicama. Međutim, navedeno smanjenje brzine nije se pokazalo statistički značajnim.

## **2) ANOVA ponovljenih mjerenja brzine vožnje u desnom zavoju tijekom dnevnih uvjeta**

Kao i u prethodnom slučaju, nezavisne varijable su „vrsta znaka“ i „udaljenost od zavoja“ dok je zavisna varijabla brzina vožnje u desnom zavoju tijekom dnevnih uvjeta.

Hipoteze koje testiraju su:

**H0 - 1:** Nema statistički značajnog djelovanja vrste znaka oštrog zavoja na brzinu dnevne vožnje u desnom zavoju, neovisno o udaljenosti od zavoja.

**H0 - 2:** Nema statistički značajnoga djelovanja udaljenosti od zavoja na brzinu dnevne vožnje u desnom zavoju, neovisno o vrsti znaka oštrog zavoja.

**H0 - 3:** Eventualno djelovanje vrste znaka oštrog zavoja na brzinu dnevne vožnje u desnome zavoju podjednako je na svim udaljenostima od toga zavoja.

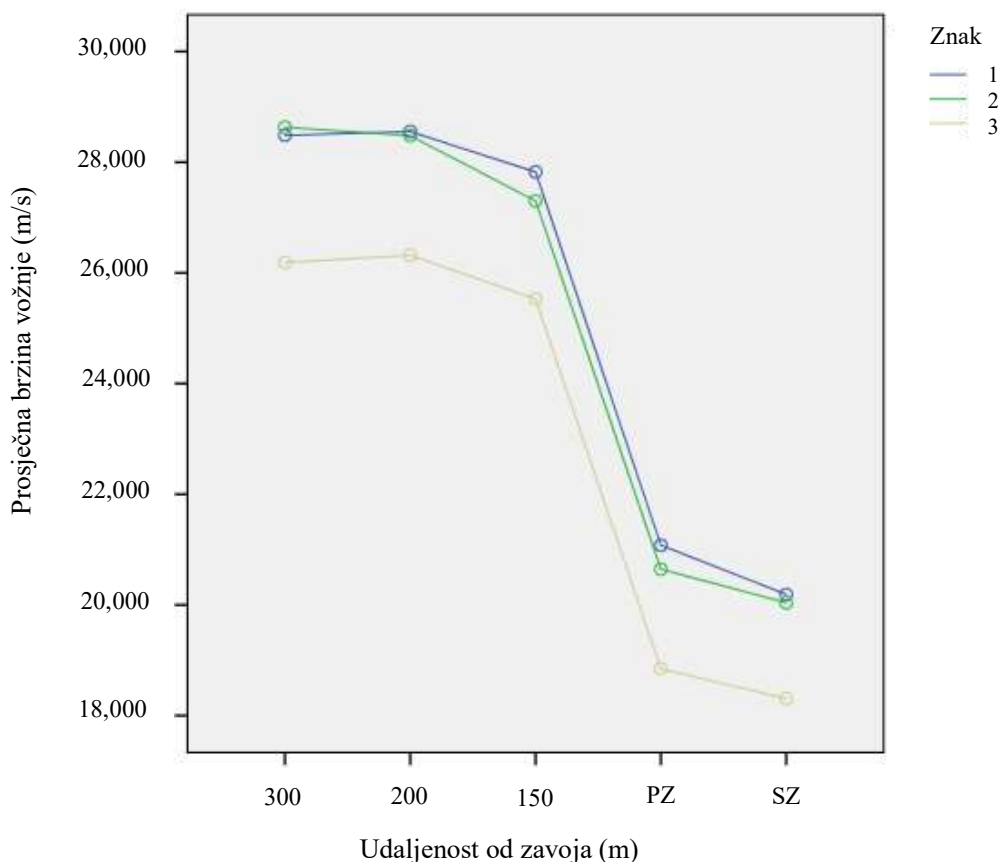
Također, s obzirom na narušenost pretpostavki za provođenje ANOVA - e, statistička značajnost je testirana uz primjenu Greenhouse-Geissierove korekcije.

Glavni efekt vrste znaka neovisno o udaljenosti od zavoja (H0-1) pokazao se statistički značajnim ( $F=9,426$ ;  $df1=1,399/1,481$ ;  $df2=25,187/26,659$ ;  $p=0,002 < 0,05$ ). Drugim riječima, barem kod jednog od tri korištena znaka došlo je do statistički značajne promjene brzine vožnje u desnome zavoju.

Glavni efekt udaljenosti od zavoja neovisno o vrsti znaka (H0-2) pokazao se statistički značajnim ( $F=235,97$ ;  $df1=1,528/1,641$ ;  $df2=27,498/29,532$ ;  $p<0,001$ ). Drugim riječima, kako se vozač približavao desnome zavoju tako je značajno mijenjao (smanjivao) brzinu vožnje, neovisno o vrsti znaka. Nadalje, značajno smanjenje brzine je, kao i u noćnim uvjetima, očito između 150 m od zavoja i samog početka zavoja, dok je između svih ostalih točaka vrlo blago.

Interakcijski efekt vrste znaka i udaljenosti od zavoja (H0-3) nije se pokazao statistički značajnim ( $F=0,275$ ;  $df1=1,721/1,886$ ;  $df2=30,979/33,945$ ;  $p=0,729/0,749 > 0,05$ ). Drugim riječima, kako se vozač približavao desnome zavoju tako je značajno mijenjao brzinu vožnje i

to podjednako za sva tri znaka. Ipak, grafički prikaz brzine vožnje po pojedinim mjernim točkama (Grafikon 4.), pokazuje najveće smanjenje brzine kod znaka s bijelom podlogom i crnim strelicama.



Grafikon 4. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka koji je zavoj bio označen

Iz istog razloga kao i u noćnim uvjetima (odstupanje od pretpostavki ANOVA - e) provedena je neparametrijska analiza primjenom Friedmanova testa čiji su rezultati slijedeći:

- (vi)  $\chi^2=9,789$ ;  $df=2$ ;  $p=0,007$ ; djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 300m od zavoja
- (i)  $\chi^2=6,00$ ;  $df=2$ ;  $p=0,05$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 200m od zavoja
- (ii)  $\chi^2=6,632$ ;  $df=2$ ;  $p=0,036$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na udaljenosti 150m od zavoja
- (iii)  $\chi^2=5,53$ ;  $df=2$ ;  $p=0,08$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na početku zavoja

- (iv)  $\chi^2=3,789$ ;  $df=2$ ;  $p=0,15$  - djelovanje „vrste znaka“ na brzinu vožnje u desnom zavoju na sredini zavoja

Od provedenih pet Friedmanovih testova prva tri, a to znači kod najvećih udaljenosti od zavoja, pokazali su kako kod tih udaljenosti od desnoga zavoja znak s bijelom podlogom i crnim strelicama dovodi do statistički značajno manje brzine, premda je kod udaljenosti 200 metara taj utjecaj bio najmanji.

### 3) Miješani model ANOVA-e

S obzirom da se analizom, iako ne sa statistički značajnom sigurnošću, utvrdilo da, mladi i relativno neiskusni vozači, najsporije voze prilikom nailaska na opasan zavoj označen s bijelom podlogom i crnim strelicama, provedena je analiza miješanoga modela ANOVA - e (nacrt ponovljenih mjerenja s nezavisnim varijablama između skupina) u kojoj je zavisna varijabla brzina vožnje u desnome zavoju promatrana u ovisnosti o tri nezavisne varijable: (1) vrsta znaka, (2) udaljenost od zavoja, (3) noćni/dnevni uvjeti vožnje.

Ovakvim nacrtom istovremeno se testiralo sedam hipoteza:

**H0 - 1:** Ne postoji statistički značajno djelovanje vrste znaka na brzinu vožnje u desnome zavoju, neovisno o udaljenosti od zavoja i noćnim/dnevnim uvjetima vožnje.

**H0 - 2:** Ne postoji statistički značajno djelovanje udaljenosti od zavoja na brzinu vožnje u desnome zavoju, neovisno o vrsti znaka i noćnim/dnevnim uvjetima vožnje.

**H0 - 3:** Ne postoji statistički značajno djelovanje noćnih/dnevnih uvjeta vožnje na brzinu vožnje u desnome zavoju, neovisno o vrsti znaka i udaljenosti od zavoja.

**H0 - 4:** Eventualno statistički značajno djelovanje vrste znaka na brzinu vožnje u desnome zavoju, te noćnim i dnevnim uvjetima vožnje ne ovisi o udaljenosti od zavoja.

**H0 - 5:** Eventualno statistički značajno djelovanje udaljenosti od zavoja na brzinu vožnje u desnome zavoju, u noćnim i dnevnim uvjetima vožnje ne ovisi o vrsti znaka.

**H0 - 6:** Eventualno statistički značajno djelovanje noćnih/dnevnih uvjeta vožnje na brzinu vožnje u desnome zavoju, kod različitih udaljenosti od zavoja, ne ovisi o vrsti znaka.

**H0 - 7:** Eventualni interakcijski efekt bilo koje dvije nezavisne varijable pod hipotezama H0 - 4, H0 - 5, ili H0 - 6, ne ovisi o djelovanju treće nezavisne varijable.

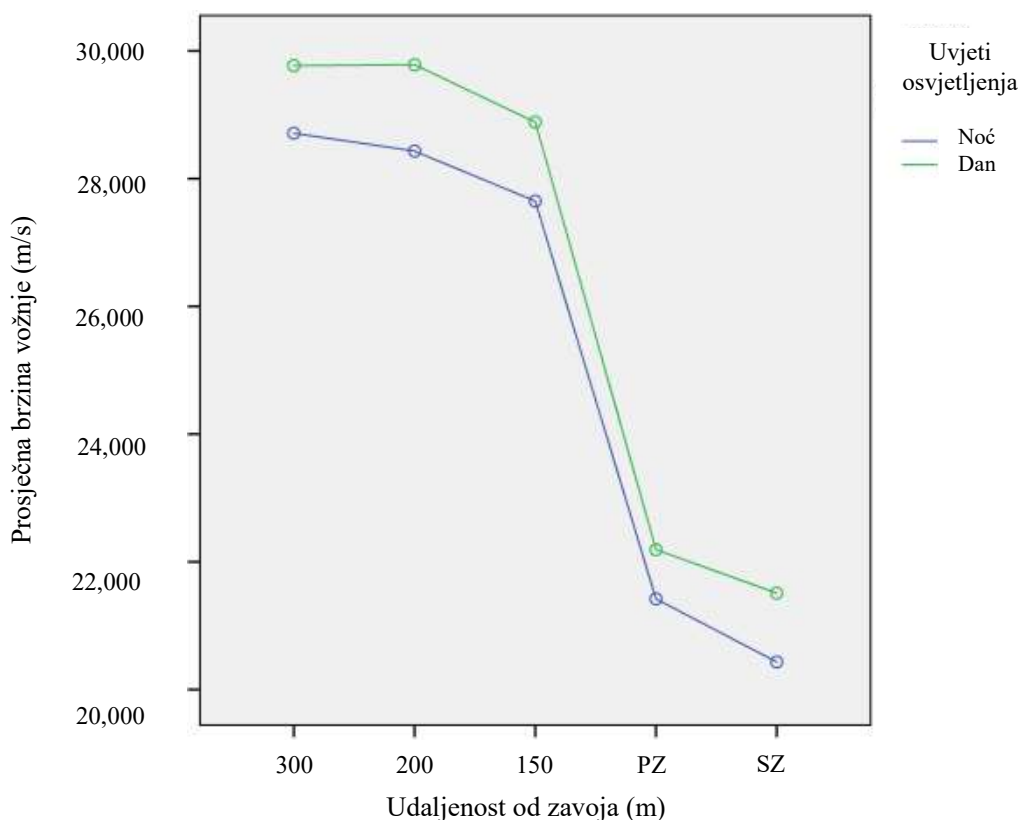
Rezultati provedene analize prikazani su u tablici 9., iz koje je vidljivo da su u miješanom modelu ANOVA - e varijable „vrsta znaka“ i „udaljenost od zavoja“ statistički značajno utjecale ( $p < 0,005$ ). Međutim, interakcijski efekt bilo koje od nezavisnih varijabli

(Vrsta znaka \* Uvjeti vožnje; Udaljenost od zavoja \* Uvjeti vožnje; i Vrsta znaka \* Udaljenost od zavoja \* Uvjeti vožnje) nije se pokazao statistički značajnim ( $p > 0,005$ ).

Tablica 9. Rezultati miješanog modela ANOVA - e

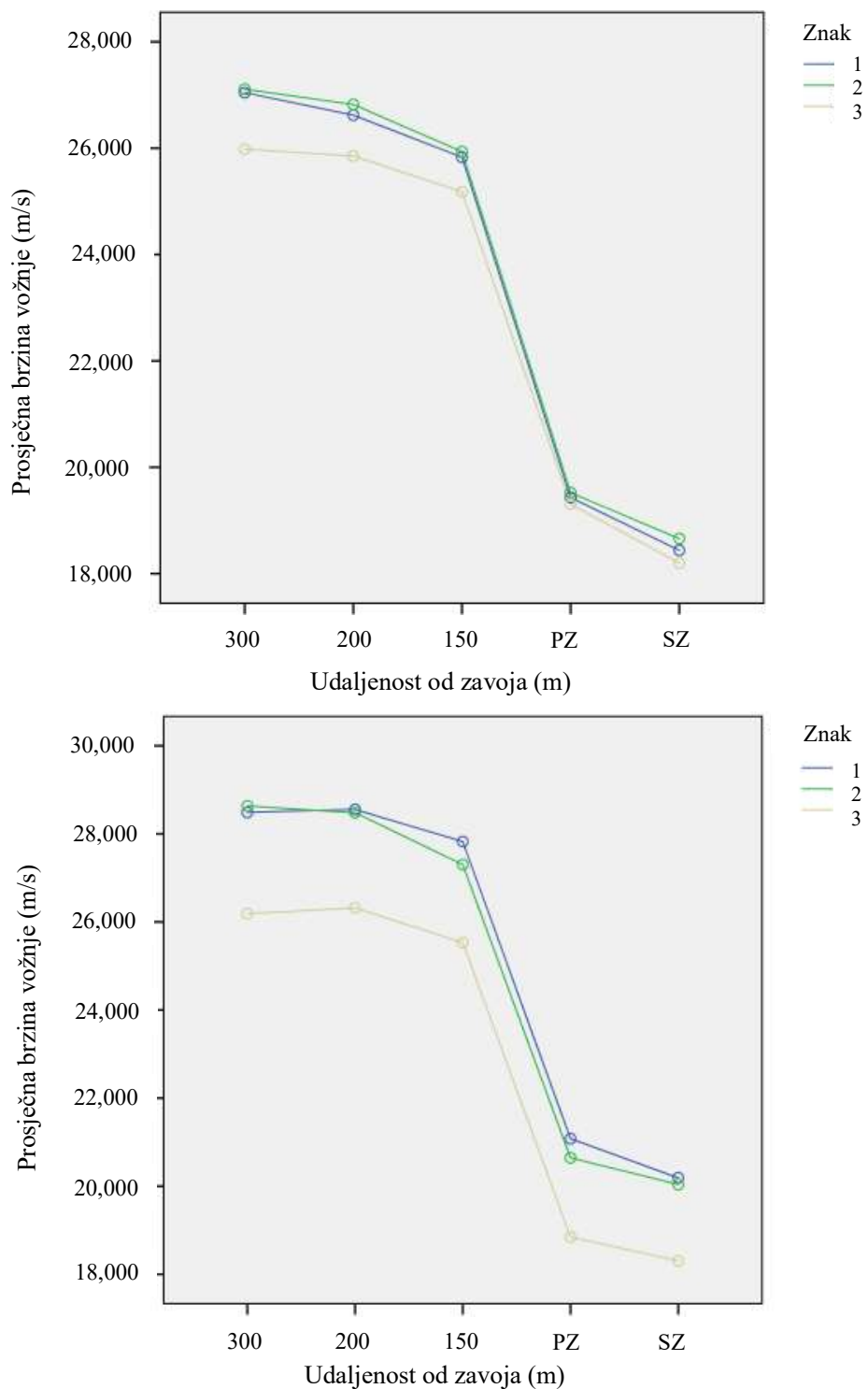
| Efekt                                              | df    | Kvadratna sredina | F       | Sig.         | Parcijalna Eta kvadrat | Snaga utvrđivanja |
|----------------------------------------------------|-------|-------------------|---------|--------------|------------------------|-------------------|
| Vrsta znaka                                        | 1,473 | 163,459           | 9,836   | <b>0,001</b> | ,210                   | 0,943             |
| Vrsta znaka * Uvjeti vožnje                        | 1,473 | 48,172            | 2,899   | 0,079        | ,073                   | 0,467             |
| Udaljenost od zavoja                               | 1,498 | 5315,895          | 441,579 | <b>0,000</b> | ,923                   | 1,000             |
| Udaljenost od zavoja * Uvjeti vožnje               | 1,498 | 3,766             | 0,313   | 0,669        | 0,008                  | 0,092             |
| Vrsta znaka * Udaljenost od zavoja                 | 2,329 | 4,250             | 0,673   | 0,535        | 0,018                  | 0,169             |
| Vrsta znaka * Udaljenost od zavoja * Uvjeti vožnje | 2,329 | 1,229             | 0,195   | 0,855        | 0,005                  | 0,081             |

Iako interakcijski efekt između “vrste znaka” i “uvjeta vožnje” nije statistički značajan, dodatnom analizom može se zaključiti da su ispitanici tijekom noćnih uvjeta u prosjeku vozili sporije u odnosu na dnevne uvjete kao što je prikazano na grafikonu 5.



Grafikon 5. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o uvjetima vožnje s obzirom na osvijetljenje

Nadalje, značajnije razlike u brzini vožnje u dnevnim i noćnim uvjetima zabilježene su kod znaka 1 (bijela podloga – crvena strelica) i 2 (fluorescentno zelena podloga – crvena strelica) u odnosu na znak 3 (bijela podloga – crna strelica) kao što je vidljivo iz grafikona 6.



Grafikon 6. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka kojim je zavoj bio označen u a)noćnim uvjetima i b)dnevnim uvjetima

## 5. RASPRAVA

Sigurnost prometa, a posebno cestovnog, predstavlja velik izazov, zbog velikog broja prometnih nesreća s teško nastradalim ili poginulim osobama. Promatrajući prometne nesreće na milijun stanovnika, Republika Hrvatska je iznad prosjeka Europske Unije. Za primjer, u 2019. godini broj smrtno stradalih osoba u prometnim nesrećama na milijun stanovnika po prosjeku Europske Unije iznosio je 51, dok je u Republici Hrvatskoj taj broj jednak 73 [19]. Da je sigurnost cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj na niskoj razini, govori i činjenica da se u razdoblju od 2010. do 2019. godine dogodilo ukupno 353 858 prometnih nesreća. Broj prometnih nesreća u cestovnim zavojima na mreži cesta Republike Hrvatske iznosi 62 144, što potvrđuje da su cestovni zavoji jedan od najopasnijih segmenata ceste. Tomu u prilog ide i stopa od 1,87 % nesreća sa smrtnim ishodom i 38,73 % nesreća s ozlijeđenim osobama. Zbog velike opasnosti za sigurnost cestovnog prometa koju zavoji nose sa sobom, provedeno je istraživanje koje ispituje utjecaj dizajna prometnih znakova za označavanje oštih zavoja na ponašanje vozača. Istraživanje se sastojalo od vožnje na simulatoru te su ukupno ispitani utjecaji tri najčešće korištena dizajna znakova (različitih boja) u EU: (1) bijela podloga – crvena strelica, (2) fluorescentno zelena podloga – crvena strelica, (3) bijela podloga – crna strelica.

Analizom koja je provedena preko ANOVA - e ponovljenih mjerenja je utvrđeno da je najveća snaga za utvrđivanje utjecaja prometnog znaka za označavanje zavoja na brzinu vožnje u desnom zavoju. Dosadašnja istraživanja koja su ispitivala cestovne zavoje također pokazuju da su desni zavoji u određenoj mjeri opasniji od lijevih zavoja [20].

Prilikom daljnje analize, provedbom Friedmanovih testova i miješanog modela ANOVA - e, zabilježena je statistički značajna razlika u brzini vožnje u pet mjernih točaka u kojima se ista ispitivala, ali na brzinu vožnje nisu utjecale različiti dizajni prometnih znakova. Brzina vožnje se smanjivala iz razloga približavanja zavoju, radi njegovog lakšeg „svladavanja“, a ne zbog određenog utjecaja prometnog znaka. Iako vrsta znaka nije statistički utjecala na brzinu vožnje, bitno je napomenuti da je brzina vožnje kod prometnog znaka s kombinacijom boja bijela podloga – crna strelica ipak bila nešto manja, nego što je to slučaj kod preostala dva znaka. Ovim se dokazuje barem djelomična istinitost glavne hipoteze ovog istraživanja.

Prilikom dizajniranja istraživanja očekivalo se da će postojati značajnija razlika između utjecaja pojedinih znakova, a posebno kod znaka s fluorescentno zelenom podlogom i crvenom strelicom, s obzirom da se takva kombinacija boja posebno ističe u okolini i na taj način privlači veću pažnju vozača. Objašnjenje zašto nije dokazan veći utjecaj takvog znaka se može pronaći

u tome što se istraživanje provelo na simulatoru vožnje, koji ipak ne može dovoljno dobro dočarati kontrast boja na znaku, u odnosu na to kako je takav kontrast vidljiv u stvarnim uvjetima. Ovim je odbačena prva pomoćna hipoteza definirana ovim radom, jer statistički nije utvrđen poseban utjecaj navedenog prometnog znaka na ponašanje vozača, odnosno smanjenje brzine vožnje.

Ukoliko se promatraju uvjeti vidljivosti, tada se može zaključiti da su ispitanici sporije vozili tijekom noćnih uvjeta u usporedbi s dnevnim čime je potvrđena treća pomoćna hipoteza. Razlog tomu je činjenica da tijekom noći dolazi do sužavanja i skraćivanja vozačeva vidnog polja, kao i smanjenja mogućnosti i kvalitete percepcije boja, oblika, tekstura, kontrasta i pokreta [21]. Nadalje, vožnja u noćnim uvjetima naznačila je kako bi, kod zavisne varijable koja ima najbolje statističke pretpostavke za ANOVA - u ponovljenih mjerenja (brzina u desnome zavoju), najbolja perceptivna svojstva za označavanje opasnog zavoja, kod mladih i relativno neiskusnih vozača, mogao imati znak s bijelom podlogom i crnim strelicama. Ta naznaka vrijedi kod svih pet promatranih udaljenosti od zavoja, posebice kod onih većih (udaljenijih), ali se nije potvrdila kao statistički značajna.

Međutim, vožnja u dnevnim uvjetima jasno je potvrdila najbolja perceptivna svojstva znaka opasnog zavoja s bijelom podlogom i crnim strelicama, kod mladih i relativno neiskusnih vozača. To optimalno djelovanje bijelo-crnoga znaka vidljivo je na svim udaljenostima, premda najviše na onim najvećim udaljenostima. Ovim se utvrđuje da kombinacija boja na prometnom znaku za označavanje zavoja ima utjecaj na ponašanje vozača s obzirom na uvjete vidljivosti, što dokazuje istinitost druge pomoćne hipoteze ovog rada.

### **5.1. Ograničenja istraživanja**

Kako je definirano poglavljem 3. ovo istraživanje je provedeno na simulatoru vožnje, koji uvjete koji vladaju na cesti prenosi putem simulacije. Ono što je potrebno uzeti u obzir prilikom ovakve vrste ispitivanja je to da simulator ipak nije prava vožnja u stvarnim uvjetima i da srednje vrijednosti prenosi preko fiksne baze, a što može utjecati na razinu realizma [22].

Ispitanici koji sudjeluju u istraživanju su obaviješteni zbog čega ih se testira, rečeno im je da voze prirodno, na način na koji uobičajeno voze. Ispitanici ipak voze s određenom dozom opreza, što može utjecati na rezultate istraživanja. Govoreći o ispitanicima, u ovom istraživanju ih je sudjelovalo ukupno 39, od čega 20 ispitanika za dnevne uvjete vožnje, a 19 za noćne uvjete vožnje. Ovakav broj nije dovoljan da bi se dobili nešto relevantniji rezultati, no kako je istraživanje provedeno u tijeku COVID – 19 pandemije, ostavlja se prostor za nadogradnju ovog istraživanja. Većim brojem ispitanika će se vrlo vjerojatno dobiti pouzdaniji podaci o

tome utječe li određena kombinacija boja na prometnim znakovima za označavanje oštih zavoja i ako utječe, na koji način. Još jedno od ograničenja koje je posljedica COVID – 19 pandemije, očituje se u broju kombinacija boja na prometnim znakovima koje su testirane. Iako se u EU koristi veći broj kombinacija boja na takvim znakovima, a čiji bi utjecaj trebalo ispitati, zbog opširnosti koju bi takva analiza zahtijevala i većeg broja ispitanika koji bi u tom slučaju bio potreban, uslijed pandemije COVID – 19 to nije bilo moguće izvesti. Stoga su se u istraživanju ispitivali znakovi s kombinacijama boja koje su najčešće korišteni u EU.

Ograničenje koje je postavljeno na samim prometnim znakovima koji su bili predmet istraživanja se odnosi na njihovu retrorefleksiju. Retrorefleksija je mjera kolika se količina svjetla vraća odnosno "odbija" od prometnog znaka u odnosu na količinu svjetla koje do njega dolazi. Jasno je, dakle, što je veći omjer između "poslane" i "odbijene" količine svjetla odnosno što je manja njihova razlika, prometni znak je jače i bolje vidljiv u uvjetima loše vidljivosti, kao što je na primjer noćna vožnja [23]. Efekt retrorefleksije kao takav nije bio simuliran u scenariju za noćnu vožnju na simulatoru, te to može predstavljati jedan od razloga zašto znak s fluorescentno zelenom podlogom i crvenom strelicom nije dao rezultate kakvi su se očekivali od njega i koji su bili postavljeni u drugoj pomoćnoj hipotezi ovog rada. Važnost koeficijenta retrorefleksije upravo za taj znak propisana je Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama [4], gdje se za taj znak zahtjeva izvedba retrorefleksije klase III.

## **5.2. Buduća istraživanja**

Na temelju ograničenja koja su većinom rezultat pandemije COVID – 19 koja je vladala u tijeku provođenja istraživanja kao i ograničenja koja su postavljena zbog same korištene opreme, mogu se predstaviti smjernice za buduća istraživanja.

Detaljniji analiza utjecaja znakova na ponašanje vozača moguća je primjenom naočala za praćenje pogleda vozača, koje bi omogućile identificiranja udaljenosti na kojoj su ispitanici prvi put pogledali znakove za označavanje oštih zavoja kao i vrijeme ukupnog trajanja pogleda na prometni znak. Na taj način bi se mogla utvrditi optimalna udaljenost na kojoj bi navedeni znakovi trebali biti postavljeni te na kojem međusobnom razmaku. Jedna od osnovnih smjernica za buduća istraživanja svakako se odnosi na povećanje broja ispitanika, radi dobivanja što točnije i pouzdanije analize. Osim toga, preporučljivo bi bilo analizirati veći broj kombinacija boja na prometnim znakovima za označavanje oštih zavoja. Sve navedene smjernice preporučene su radi što kvalitetnije analize čiji je cilj pronalazak optimalnog rješenja prometnog znaka za označavanje zavoja, te na taj način podizanja razine sigurnosti u cestovnim zavojima.



## 6. ZAKLJUČAK

Prometni sustav je jako dinamičan i stohastičan, te za sobom vuče brojne komponente koji utječu na njegovu cjelokupnu sigurnost. Tri najbitnija čimbenika koji utječu na sigurnost cestovnog prometa su čovjek, vozilo i cesta s njenom okolinom. Čovjek je čimbenik koji svojim ponašanjem najviše utječe na sigurnost prometa, no zapravo je u direktnoj korelaciji s preostala dva čimbenika. Vozilo i cesta svojim značajkama bitno utječu na ponašanje čovjeka, a svojim nedostacima mogu dovesti do tog da vozač nije u mogućnosti izbjeći nastanak prometne nesreće. Promatrajući cestu, koja čini infrastrukturu prometnog sustava, uočljivo je da se na nekim njezinim pojedinim dijelovima događa veći postotak prometnih nesreća, u odnosu na cjelokupnu duljinu ceste. Takvi dijelovi su raskrižja i zavoji. Svojom konstrukcijom, nepravilnom izvedbom ili postavljanjem neodgovarajućih prometnih znakova, takvi dijelovi često postaju mjesta s velikim brojem prometnih nesreća koji za posljedicu imaju teško nastradale ili poginule sudionike. Analizom prometnih nesreća koje su se dogodile u razdoblju od 2010. do 2019. godine na mreži cesta Republike Hrvatske, dobiva se podatak od 62 144 prometne nesreće koje su se dogodile u zavojima tih cesta. Prometne nesreće u zavojima čine 17,56 % svih prometnih nesreća u tom razdoblju. Tako visok postotak dokazuje činjenicu da su zavoji izrazito opasni dijelovi cestovne mreže.

Postoji nekoliko načina na koje je moguće utjecati na razinu sigurnosti u cestovnim zavojima, kao na primjer izvedbom građevinskih radova kojima bi se povećao radijus zakrivljenosti zavoja, postavljanjem zaštitnih ograda ili pak postavljanjem odgovarajuće prometne signalizacija, što se očituje kao najjeftinije, a opet jednako učinkovito rješenje. Upravo iz tog razloga, a u svrhu pisanja ovog rada, provedeno je istraživanje na Zavodu za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu kojim se nastojalo ispitati utjecaj dizajna prometnih znakova za označavanje oštrog zavoja na ponašanje vozača, odnosno na brzinu vožnje prilikom nailaska na oštar zavoj. Istraživanje se sastojalo od nekoliko dijelova, a koji obuhvaćaju:

- 1) analizu prometnih nesreća u zavojima na mreži cesta Republike Hrvatske primjenom mapiranja pomoću GIS sustava radi definiranja radijusa zakrivljenosti tipičnog oštrog zavoja
- 2) kreiranje scenarija vožnje za simulator na kojem je provedeno ispitivanje utjecaja tri različite najčešće kombinacije boja na znakovima za označavanje oštrog zavoja u EU
- 3) statističku analizu podataka o brzini vožnje mjerene u pet karakterističnih točaka, primjenom Friedmanovih testova i ANOVA – e ponovljenih mjerenja

Uspoređujući hipoteze rada koje su postavljene u prvom poglavlju i rezultate dobivene provedenim analizama moguće je donijeti sljedeće zaključke:

1) Od ispitanih kombinacija boja na znakovima za označavanje oštih zavoja, niti jedna kombinacija nije donijela značajnije promjene u smanjenju brzine vožnje, kako su se vozači približavali zavoju, već je smanjenje brzine vožnje nastalo radi svladavanja zavoja, što vozači i inače čine. Ipak, najmanja brzina vožnje se očituje u zavojima koji su označeni kombinacijom boja koju čini bijela podloga i crna strelica.

2) Nije dokazan značajan utjecaj kombinacije fluorescentno zelene podloge i crvene strelice na smanjenje brzine vožnje, kako se to očekivalo s obzirom na to da se takva kombinacija dosta ističe u okolini i privlači vozačevu pažnju.

3) Postoji razlika između utjecaja različitog dizajna prometnih znakova za označavanje oštih zavoja u odnosu na uvjete vidljivosti, odnosno na to vladaju li dnevni ili noćni uvjeti vidljivosti. Najznačajnije smanjenje brzine vožnje dogodilo se u zavojima koji su označeni prometnim znakom s kombinacijom bijele podloge i crne strelice i to u noćnim uvjetima vidljivosti.

S obzirom da je istraživanje provedeno na simulatoru vožnje u vrijeme trajanja pandemije COVID – 19, a što je utjecalo na broj ispitanika koji čine mali uzorak ispitivanja, te je ispitan samo utjecaj tri najčešće kombinacije boja koje se koriste za označavanje oštih zavoja u EU, ovim radom predstavljene su smjernice za daljnja istraživanja. Broj ispitanika je potrebno povećati, kao i broj kombinacija boja znakova koji se koriste na području EU. Simulator vožnje ne predstavlja stvarnu vožnju, a s obzirom da bi ovakvo istraživanje bilo jako teško izvesti u realnim uvjetima, preporuča se i korištenje naočala za praćenje pogleda ispitanika, radi još detaljnije analize i opširnijih podataka. Bitno je naglasiti da ovim istraživanjem nije uzeta u obzir retrorefleksija prometnih znakova, koja bi bila jako bitan parametar ukoliko bi se istraživanje vršilo u realnim uvjetima.

Na osnovu provedenog istraživanja, statističkih analiza i rasprave, jasan je zaključak da će definiranje optimalnog rješenja izgleda prometnog znaka za označavanje oštih zavoja i njegovo postavljanje u zavojima na cestovnoj mreži Republike Hrvatske, doprinijeti porastu razine sigurnosti, odnosno smanjenju prometnih nesreća, što je zapravo primarni cilj kojem treba težiti.

## **7. ZAHVALE**

Zahvaljujemo mentoru dr. sc. Dariju Babiću na usmjeravanju, savjetima i strpljenju te pomoći prilikom izrade rada i statističke obrade podataka.

Također zahvaljujemo izv. prof. dr. sc. Mislavu Stjepanu Žabecu na pomoći oko statističke obrade podataka i opisivanju istih.

Zahvaljujemo se svim zaposlenicima Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti na savjetima, velikodušnoj pomoći i podršci, a na poseban način Marku Ružiću, mag. inf. traff. na pomoći prilikom izrade scenarija na simulatoru vožnje.

## LITERATURA

- [1] Ministarstvo unutarnjih poslova, Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2010. – 2019., Zagreb, RH
- [2] Svjetska zdravstvena organizacija, 2017., Cestovne ozljede  
Dostupno na: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>. (27.06.2020.)
- [3] Nastavni materijali iz kolegija Vizualne informacije u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, ak. god 2016./2017.
- [4] Legac, I. *Cestovne prometnice I - Javne ceste*. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [5] Cerovac, V. *Tehnika i sigurnost prometa*. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [6] Božičević, J., Topolnik, D. *Infrastruktura cestovnog prometa*. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1996.
- [7] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01)
- [8] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/2019)
- [9] Winkelbauer, M. *Infrastructure to save riders' lives: Assessed classics and innovative measures*, Barcelona, 28.6.2018. Dostupno na:  
[http://transit.gencat.cat/web/.content/documents/congressos\\_i\\_jornades/01\\_I\\_jornada\\_dialeg\\_SV\\_motocicletes/I\\_jornada\\_dialegs\\_SV\\_motos-05-Martin-Winkelbauer.pdf](http://transit.gencat.cat/web/.content/documents/congressos_i_jornades/01_I_jornada_dialeg_SV_motocicletes/I_jornada_dialegs_SV_motos-05-Martin-Winkelbauer.pdf)
- [10] International Road Assessment Programme (iRAP). *iRAP Coding Manual - Drive on the right edition*, 2019.
- [11] URL: <https://cs-driving-simulator.com/>, 01.7.2020.
- [12] URL: <https://trl.co.uk/driving-simulator>, 01.7.2020.
- [13] Satria, R. & Castro, M. (2016). GIS tools for analyzing accidents and road design: A review. *Transportation Research Procedia*, 18:242-247. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.12. 033
- [14] Bil, M., Andrašik, R. & Sedonik, J. (2019). Which curves are dangerous? A network-wide analysis of traffic crash and infrastructure data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120:252-260. DOI: 10.1016/j.tra.2019.01.001

- [15] Hussain, A. H. et al. (2019). Impact of perceptual counter measures on driving behavior at curves using driving simulator. *Traffic Injury Prevention*, 20(1):93-99. DOI: 10.1080/15389588.2018.1532568
- [16] Ariën, C. et al. (2017). The effect of pavement markings on driving behaviour in curves: A simulator study. *Ergonomics*, 60(5):701–713. DOI: 10.1080/00140139.2016.1200749
- [17] SafetyNet (2009), Roads.  
Dostupno na:  
[https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/specialist/knowledge/pdf/roads.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/specialist/knowledge/pdf/roads.pdf) (06.7.2020.)
- [18] URL: <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/repeatmeasures-anova-statistical-guide.php>; (09.8.2020.)
- [19] URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda\\_20\\_1004](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_1004) (09.8.2020.)
- [20] URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21050608/> (09.8.2020.)
- [21] Plainis, S., Murray, I. J. & Pallikaris, I. G. (2006). Road traffic casualties: Understanding the night-time death toll. *Injury Prevention*, 12(2):125–128. DOI: 10.1136/ip.2005.011056
- [22] Hussain, Q. et al. (2019c). Speed perception and actual speed in a driving simulator and real-world: A validation study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62:637-650. DOI: 10.1016/j.trf.2019.02.019
- [23] Babić, D., Babić, D. & Macura, D. (2017). Model for predicting traffic signs functional service life – The Republic of Croatia case study. *Promet - Traffic&Transportation*, 29(3):343-349. DOI: 10.7307/ptt.v29i3.2247

## SAŽETAK

Magdalena Čavka, Bernard Kosovec

### UTJECAJ DIZAJNA ZNAKOVA ZA OZNAČAVANJE ZAVOJA NA PONAŠANJE VOZAČA PRILIKOM NAILASKA NA OŠTAR ZAVOJ

Analizom prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj, vidljivo je da se veliki udio prometnih nesreća s teškim i fatalnim posljedicama događa u cestovnim zavojima, posebno onim oštrim, te je potrebno podignuti njihovu razinu sigurnosti. Jedno od učinkovitijih i troškovno najprihvatljivijih rješenja za podizanje razine sigurnosti je primjena odgovarajuće prometne signalizacije i opreme. Kako bi prometni znakovi bili u potpunosti efektivni u djelovanju na ponašanje vozača, potrebno je da su dizajnirani na način da njihov izgled privlači pažnju i omogućuje pravovremeno percipiranje prometnog znaka.

Prometni znakovi za označavanje oštih zavoja u EU su najčešće izvedeni u tri kombinacije boja: bijela podloga – crvena strelica, fluorescentno zelena podloga – crvena strelica i bijela podloga – crna strelica. Upravo je utjecaj tih kombinacija boja na znakovima za označavanje oštih zavoja ispitan, za potrebe ovog rada, u istraživanju koje je provedeno na Zavodu za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Kreiranjem scenarija i provedbom ispitivanja na simulatoru vožnje i uzorku od 39 ispitanika, prikupljeni su podaci o brzini vožnje u pet mjernih točaka.

Statističkom analizom pomoću ANOVA -e ponovljenih mjerenja utvrđeno je da dizajn znaka nema statistički značajan utjecaj na smanjenje brzine vožnje, ali je brzina u zavojima označenim kombinacijom bijela podloga – crna strelica ipak bila nešto manja nego u preostala dva slučaja. Utvrđeno je da prometni znak s kombinacijom boja fluorescentno zelena podloga – crvena strelica nema veći statistički značaj što se tiče utjecaja na ponašanje vozača, odnosno brzinu vožnje, kako se očekivalo zbog velikog privlačenja pažnje koju taj znak izaziva. Provedenom analizom utvrđeno je da će brzina približavanja zavoju biti manja u noćnim uvjetima vidljivosti, posebno ako je zavoj označen kombinacijom boja bijela podloga – crna strelica.

**Ključne riječi:** oštri zavoji, prometni znakovi, cestovna sigurnost, brzina vožnje

## SUMMARY

Magdalena Čavka, Bernard Kosovec

### EFFECT OF CHEVRON ROAD SIGN DESIGN ON THE DRIVER BEHAVIOR WHEN APPROACHING THE CURVE

The analysis of traffic accidents in the Republic of Croatia shows that a large proportion of them with severe consequences occur in curves, especially in sharp ones, and it is necessary to raise the level of their safety. One of the most efficient and cost - effective solutions for raising the level of safety is the use of appropriate road signs and equipment. For road signs to be fully effective in influencing driver's behavior, they need to be designed in such a way that their appearance attracts attention and allows their timely perception.

The most common design of chevron road signs in the EU consist of three color combinations: white background - red arrow, fluorescent green background - red arrow and white background - black arrow. It is precisely the influence of these color combinations on the chevron signs that were studied in this research conducted at the Department of Traffic Signalling of the Faculty of Traffic and Transport Sciences, University of Zagreb. By creating a scenario and conducting tests on a driving simulator with a sample of 39 participants, data on driving speed was collected at five measuring points.

Statistical analysis using repeated measures ANOVA showed that the color of the chevron sign had no significant effect on reducing driving speed, but the driving speed in curves marked with a sign that has a combination of white background - black arrow, was slightly lower than in the other two cases. It was found that a chevron sign with a combination of fluorescent green background - red arrow has no greater statistical significance in terms of influencing driver behavior, driving speed to be precise, as expected due to the great attraction of attention that this sign causes. The analysis showed that the speed of approaching the curve will be lower during night-time compared to the daytime, especially if the curve is marked with a chevron sign that has a combination of white background - black arrow.

**Key words:** sharp curves, chevron road signs, road safety, driving speed

## POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA

### Popis slika:

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Tlocrtni elementi ceste.....                                                                                                                                   | 7  |
| Slika 2. Broj prometnih nesreća u ovisnosti o duljini cestovnog pravca.....                                                                                             | 8  |
| Slika 3. Ovisnost stupnja pojave prometnih nesreća o polumjeru zavoja .....                                                                                             | 9  |
| Slika 4. Proširenje kolnika u zavoju.....                                                                                                                               | 10 |
| Slika 5. Najčešći prometni znakovi za označavanje cestovnih zavoja.....                                                                                                 | 12 |
| Slika 6. Oprema za označavanje zavoja .....                                                                                                                             | 13 |
| Slika 7. Prikaz potencijalne opasnosti u zavoju zbog lošeg pozicioniranja [9].....                                                                                      | 16 |
| Slika 8. Prikaz simulatora vožnje korištenog za potrebe provođenja istraživanja.....                                                                                    | 19 |
| Slika 9. Tlocrtna skica scenarija (Žuta boja = područje „zagrijavanja“; Zelena boja = „testni“ dio; Plava boja = priključne ceste; Crne točke = prometni znakovi) ..... | 22 |
| Slika 10. Primjer označavanja zavoja u scenariju.....                                                                                                                   | 23 |

### Popis tablica:

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Minimalni polumjeri zavoja ovisno o projektnim brzinama .....                                                                   | 9  |
| Tablica 2. Najveći uzdužni nagib nivelete.....                                                                                             | 11 |
| Tablica 3. Ukupan broj prometnih nesreća u cestovnim zavojima na mreži cesta Republike Hrvatske u razdoblju od 2010. do 2019. godine ..... | 14 |
| Tablica 4. Prometni znakovi za označavanje zavoja postavljeni u scenariju .....                                                            | 21 |
| Tablica 5. Ostali prometni znakovi u scenariju.....                                                                                        | 22 |
| Tablica 6. Pregled ispitanika prema Prilogu 3. ....                                                                                        | 25 |
| Tablica 7. Prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e za noćne uvjete.....                                                                  | 28 |
| Tablica 8. Prikaz odstupanja od pretpostavki ANOVA-e za dnevne uvjete.....                                                                 | 29 |
| Tablica 9. Rezultati miješanog modela ANOVA - e.....                                                                                       | 36 |

### Popis grafikona:

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafikon 1. Ukupan broj prometnih nesreća u zavojima u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2009. do 2019. godine ..... | 15 |
| Grafikon 2. Udio ispitanika prema spolu.....                                                                          | 25 |
| Grafikon 3. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka kojim je zavoj bio označen.....    | 32 |



|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafikon 4. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka koji je zavoj bio označen .....                                           | 34 |
| Grafikon 5. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o uvjetima vožnje s obzirom na osvjetljenje.....                                        | 36 |
| Grafikon 6. Prosječna brzina vožnje u pojedinoj mjernoj točki ovisno o vrsti znaka kojim je zavoj bio označen u a)noćnim uvjetima i b)dnevnim uvjetima ..... | 37 |

## **PRILOZI**

Prilog 1. Upute za istraživanje

Prilog 2. Suglasnost za sudjelovanje u istraživanju

Prilog 3. Ispitni obrazac

Prilog 4. Upitnik PRIJE vožnje - Opće stanje ispitanika

Prilog 5. Upitnik NAKON vožnje - Opće stanje ispitanika

## PRILOG 1. UPUTE ZA ISTRAŽIVANJE

### Upute ispitanicima prije provođenja istraživanja na simulatoru vožnje

Dobrodošli na istraživanje Fakulteta prometnih znanosti i hvala na sudjelovanju. Prije početka istraživanja ukratko ćemo Vam pojasniti metodologiju istraživanja. Ako tijekom uputa neki element vožnje na simulatoru kod Vas proizvede bilo koji oblik bojazni/tjeskobe – slobodno zatražite pojašnjenje.

Istraživanje se provodi sukladno Etičkom kodeksu Fakulteta prometnih znanosti te će svi prikupljeni podaci biti kodirani i neće se objavljivati pod Vašim imenom. Također, istraživanjem se ne ocjenjuje Vaša vožnja. Drugim riječima, u slučaju “prometnih prekršaja” tijekom vožnje nećete biti kažnjavani, niti će biti ikakvih drugih posljedica vožnje.

Istraživanje će se provesti na simulatoru vožnje na kojem ćete voziti unaprijed pripremljen scenarij koji simulira dvosmjernu ruralnu cestu. Tijekom vožnje nosit ćete naočale za praćenje pogleda kojim će se prikupljati podaci o vizualnoj percepciji u vožnji (*pokazati naočale za praćenje pogleda*).

Tijekom vožnje na simulatoru moguća je pojava blažih “mučnina” kod malog postotka vozača simulatora (5 %). U slučaju pojave glavobolje, nelagode, mučnine ili sličnih simptoma molimo da iste prijavite nama istraživačima te će se istraživanje prekinuti.

Prije početka istraživanja molimo Vas da pročitate, i ako nemate neki objektivan razlog za nesudjelovanje, potpišete “Suglasnost za sudjelovanje u istraživanju”. Također, popunite obrazac kojim se prikupljaju demografski podaci i oni o vozačkom iskustvu kao i upitnik vezan uz trenutno psihofizičko stanje.

*(Dati ispitanicima obrasce i suglasnost)*

Molimo Vas da sada sjednete za simulator i prilagodite sjedalo kako Vam je najudobnije te stavite naočale za praćenje pogleda koje će se nakon toga kalibrirati (*provesti kalibraciju naočala*).

Mjenjač na simulatoru je automatski te ne morate mijenjati brzine tijekom vožnje. Lijevu nogu stavite sa strane, a desnom nogom ćete koristiti gas i kočnicu.

Prvi dio scenarija vožnje predstavlja „zagrijavanje“, odnosno vježbu, u kojem ćete se prilagoditi na simulator i naočale za praćenje pogleda. „Zagrijavanje“ će trajati nekoliko minuta unutar kojih slobodno možete probati naglo ubrzavati, kočiti, skretati lijevo-desno itd. kako bi dobili što bolji osjećaj simulatora.

Početak dijela scenarija „stvarne vožnje“ će Vam biti naglašen. Tijekom stvarnog scenarija molimo Vas da vozite „prirodno“, odnosno stilom vožnje kojim inače vozite i koji smatrate prikladnim ovisno o nadolazećoj situaciji. Ističemo, tijekom vožnje ne morate se pridržavati prometnih propisa (ograničenja brzine itd.) jer za eventualne prekršaje nećete biti kažnjavani, ali uvažavajte signalizaciju koja Vas upozorava na sadržaje ceste kako biste joj se što bolje prilagodili. **Tijekom vožnje, na eventualnim raskrižjima, OBAVEZNO vozite samo ravno ne skrećući.**

Nakon vožnje ciljnog scenarija ponovno ćete biti zamoljeni popuniti upitnik vezan uz trenutno psihofizičko stanje čime sudjelovanje u istraživanju završava.

Procijenjeno vrijeme istraživanja je 20-30 minuta (ovisno o vozačkom iskustvu).

**Na kraju još jednom naglašavamo da u bilo kojem trenutku možete odustati od istraživanja neovisno o razlogu.**

**O detaljima istraživanja nemojte komentirati s kolegama, kako ne bi došlo do ugrožavanja daljnjeg istraživanja.**

## PRILOG 2. SUGLASNOST ZA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU

### SUGLASNOST

za sudjelovanje u znanstvenom istraživanju

Potpisom ove suglasnosti izražavam svoj pristanak za sudjelovanje u istraživanju i potvrđujem:

- da sam upoznat s procedurom, metodologijom, opremom i svrhom istraživanja (ukoliko spoznaja o istoj ne utječe na rezultate istraživanja)
- da sam informiran da je moje sudjelovanje u istraživanju dobrovoljno te da će se analiza rezultata provoditi na anonimiziranim podacima, odnosno da se moj identitet neće koristiti u formalnim ili neformalnim publikacijama u pisanom, zvučnom ili video formatu, bez eksplicitnog pisanog dopuštenja
- da se obvezujem savjesno izvršavati zadaće u okviru istraživanja
- da neću formalno objavljivati prikazanu tehnologiju, metodologiju ili rezultate istraživanja u pisanom, zvučnom ili video formatu te da neću dijeliti informacije o tehnologiji, metodologiji, sadržaju ili rezultatima istraživanja s ostalim sudionicima u istraživanju prije okončanja istraživanja te na taj način utjecati na ostale sudionike istraživanja
- da se odričem materijalnih, novčanih i ostalih vidova kompenzacije za vrijeme utrošeno tijekom istraživanja
- da sam svjestan prava odustajanja (u bilo kojem trenutku)
- da sam upoznat da su istraživači obvezni pridržavati se Etičkog kodeksa i da su dužni zaštititi tajnost podataka.

Datum:

Potpis sudionika

---



## PRILOG 4. UPITNIK PRIJE VOŽNJE - OPĆE STANJE ISPITANIKA

TESTIRANJE NA SIMULATORU VOŽNJE

### Upitnik PRIJE vožnje - OPĆE STANJE ISPITANIKA

Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993.)

Molimo Vas, zaokružite odgovor koji opisuje u kojoj mjeri je trenutno kod Vas prisutan svaki od navedenih simptoma:

|                                     |       |       |          |          |
|-------------------------------------|-------|-------|----------|----------|
| Opća nelagoda                       | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Umor                                | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Glavobolja                          | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Naprezanje očiju                    | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Otežano fokusiranje                 | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Pojačana slina                      | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Znojenje                            | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Mučnina                             | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Otežano koncentriranje              | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Pritisak u glavi ("teška glava")    | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Zamagljen vid                       | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Ošamućenost (otvorene oči)          | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Ošamućenost (zatvorene oči)         | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Vrtoglavica*                        | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Osjetljivost ("svjesnost") želuca** | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Podrigivanje                        | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |

\* Vrtoglavica se doživljava kao gubitak orijentacije u odnosu na okomiti (uspravni) položaj.

\*\* Osjetljivost ("svjesnost") želuca obično se koristi za označavanje osjećaja nelagode koji prethodi mučnini.

Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. & Lilienthal, M.G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220

## PRILOG 5. UPITNIK NAKON VOŽNJE - OPĆE STANJE ISPITANIKA

### TESTIRANJE NA SIMULATORU VOŽNJE

#### Upitnik NAKON vožnje - OPĆE STANJE ISPITANIKA

Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993.)

Molimo Vas, zaokružite odgovor koji opisuje u kojoj mjeri je trenutno kod Vas prisutan svaki od navedenih simptoma:

|                                     |       |       |          |          |
|-------------------------------------|-------|-------|----------|----------|
| Opća nelagodna                      | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Umor                                | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Glavobolja                          | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Naprezanje očiju                    | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Otežano fokusiranje                 | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Pojačana slina                      | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Znojenje                            | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Mučnina                             | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Otežano koncentriranje              | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Pritisak u glavi ("teška glava")    | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Zamagljen vid                       | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Ošamućenost (otvorene oči)          | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Ošamućenost (zatvorene oči)         | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Vrtoglavica*                        | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Osjetljivost ("svjesnost") želuca** | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |
| Podrigivanje                        | Ništa | Blago | Umjereno | Značajno |

\* Vrtoglavica se doživljava kao gubitak orijentacije u odnosu na okomiti (uspravni) položaj.

\*\* Osjetljivost ("svjesnost") želuca obično se koristi za označavanje osjećaja nelagode koji prethodi mučnini.

Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. & Lilienthal, M.G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220