

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Helena Dijanić, Marija Ferko, Maja Modrić

ODREĐIVANJE UTJECAJA KVALITETE PROMETNIH ZNAKOVA NA
UČESTALOST NASTANKA PROMETNIH NESREĆA

Zagreb, 2017.

Ovaj rad izrađen je na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za prometnu signalizaciju pod mentorstvom doc. dr. sc. Darka Babića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2016./2017.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. DEFINICIJA I PODJELA PROMETNIH ZNAKOVA..... | 4 |
| 2.1. Znakovi opasnosti..... | 5 |
| 2.2. Znakovi izričitih naredbi..... | 6 |
| 2.3. Znakovi obavijesti..... | 6 |
| 2.4. Znakovi obavijesti za vođenje prometa..... | 6 |
| 2.5. Dopunske ploče..... | 7 |
| 2.6. Promjenjivi prometni znakovi..... | 7 |
| 3. ELEMENTI VIDLJIVOSTI PROMETNIH ZNAKOVA..... | 9 |
| 4. MATERIJALI ZA IZRADU PROMETNIH ZNAKOVA..... | 13 |
| 4.1. Materijali klase I – Engineer Grade..... | 16 |
| 4.2. Materijali klase II – High Intensity Grade..... | 17 |
| 4.3. Materijali klase III – Diamond Grade..... | 18 |
| 5. STANJE SIGURNOSTI NA CESTAMA U EUROPI I RH..... | 20 |
| 6. UTJECAJ VIDLJIVOSTI PROMETNIH ZNAKOVA NA SIGURNOST PROMETA..... | 23 |
| 7. ODREĐIVANJE KORELACIJE IZMEĐU PROMETNIH ZNAKOVA I SIGURNOSTI PROMETA..... | 27 |
| 7.1. Podaci o prometnim znakovima i cestama..... | 27 |
| 7.1. Određivanje utjecaja kvalitete prometnih znakova na učestalost nastanka prometnih nesreća..... | 37 |
| 8. RASPRAVA..... | 44 |
| 9. ZAKLJUČCI..... | 46 |
| 10. ZAHVALE..... | 48 |
| 11. LITERATURA..... | 49 |
| SAŽETAK..... | 51 |
| SUMMARY..... | 52 |

| | |
|-----------------------|----|
| POPIS SLIKA | 53 |
| POPIS TABLICA..... | 54 |
| POPIS GRAFIKONA | 55 |

1. UVOD

Prometni sustav predstavlja skup međusobno povezanih ključnih elemenata koji utječu na kvalitetno odvijanje prometnih tokova unutar prometne mreže. Kako bi se osiguralo učinkovito, sustavno i sigurno vođenje svih sudionika u prometu, potrebno je na svim cestama postaviti kvalitetnu prometnu signalizaciju. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti prijenosu jednostavnih i razumljivih informacija koje se mogu prenijeti pravilno postavljenim i održanim prometnim znakovima, koji su sastavni dio cjelokupne prometne signalizacije. Općenito, prometni znakovi predstavljaju osnovna sredstva komunikacije između nadležnih cestovnih vlasti i sudionika u prometu te su kao takvi osnovna tehnička sredstva za upravljanje prometnim tokovima i kretanjima na cestama.

Redovno i pravilno održavanje cesta, a samim time i prometne signalizacije omogućuje sudionicima u prometu pravovremeno uočavanje i prepoznavanje potencijalno opasnih situacija koje mogu dovesti do neželjenih posljedica, odnosno prometnih nesreća. Prometna nesreća može se definirati kao događaj na cesti u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo i u kojoj je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula od posljedica prometne nesreće [1]. Neprilagođena brzina vožnje uvjetima na cesti uz nepažnju vozača i neadekvatnu vertikalnu signalizaciju često dovodi do prometnih nesreća. Kako bi se smanjio broj stradalih osoba u prometu, važno je utvrditi, s aspekta sigurnosti, kritična mjesta te definirati mjere za smanjenje ili potpuno eliminiranje istih. U svrhu navedenog, potrebno je pratiti kretanje broja prometnih nesreća, ali isto tako i lokacije na kojima se one pojavljuju te sustavnom analizom razmotriti odnos nastanka prometnih nesreća i vrste prometnice, duljine promatrane dionice, prometnog opterećenja i kvalitete prometne signalizacije.

Znatan pad broja prometnih nesreća bilježen je sve do 2013. godine, međutim u zadnje četiri godine u nekim zemljama Europske Unije (EU) broj stradalih je u porastu. U Republici Hrvatskoj (RH), broj smrtno stradalih osoba u prometu povećao se s 308 na 348 u periodu 2014. - 2015. godine. Njemačka također bilježi porast broja poginulih s 3.368 u 2014. na 3.475 tijekom 2015. godine, dok Finska za isti period bilježi porast broja stradalih na cestama za 14% [2]. Od ukupnog broja prometnih nesreća u RH u 2014. godini, 31,84% nesreća dogodilo se u uvjetima smanjene vidljivosti od kojih je više od 36% bilo sa stradalim osobama.

Uz porast broj prometnih nesreća u određenim zemljama EU, zabilježen je i velik broj tehnički neispravnih znakova koji su posljedica smanjenih ulaganja u održavanje cestovne infrastrukture. Procijenjeno je da u Njemačkoj oko 8 milijuna prometnih znakova više ne zadovoljava tehničke uvjete (33% od ukupnog broja znakova), s time da je 25% znakova starijih od 15 godina [3]. U Francuskoj, prosječna starost znakova je 17 godina, dok je njihov funkcionalni vijek trajanja 8-12 godina, što znači da 40-50% znakova nema zadovoljavajući prometni učinak i nije u skladu s nacionalnim zakonodavnim zahtjevima [3]. Na državnim cestama u RH, 28,88% od 149.435 prometnih znakova ne zadovoljava tehničku ispravnost te prosječna starost znakova koji ne zadovoljavaju minimalnu vidljivost iznosi 8,5 godina [4].

Kvaliteta vertikalne prometne signalizacije, koja se izražava retroreflektivnošću materijala za izradu prometnih znakova, posebno dolazi do izražaja u uvjetima smanjene vidljivosti, kada nema prirodnog izvora svjetlosti. Kako utjecaj kvalitete prometnih znakova na nastanak prometnih nesreća do sada nije uvelike istražen, cilj ovog rada je utvrditi utječe li i u kojoj mjeri kvaliteta prometnih znakova na učestalost nastanka prometnih nesreća. Glavni naglasak postavljen je na određivanje korelacije prometnih znakova i sigurnosti prometa te donošenje zaključka i prijedloga o poboljšanju postojećeg stanja i povećanju sigurnosti na cestama. Iz svega navedenog proizlazi hipoteza rada da će loša kvaliteta prometnih znakova u uvjetima smanjene vidljivosti biti u pozitivnoj korelaciji s brojem prometnih nesreća.

Kako bi se došlo do zaključka o ispravnosti hipoteze, koristit će se više znanstvenih metoda. Kombinacija induktivne i deduktivne metode poslužit će za objašnjavanje utvrđenih spoznaja te dokazivanje postavljene teze. Kao pomoćne metode indukcije koristit će se povijesna i statistička (korelacijska i regresijska) analiza. Povijesnom analizom utvrdit će se sadašnje stanje sigurnosti na cestama u RH i EU. Kod statističke analize odabrat će se podaci o 130 državnih cesta od ukupno 181 u RH, što uključuje 139.773 prometna znaka. Veliki uzorak bit će odabran u svrhu postizanja što veće reprezentativnosti. Prvotno će se odrediti korelacija između ukupnog broja poginulih i ozlijeđenih s glavnim karakteristikama cesta, a zatim korelacija posebno odabranih prediktora međusobno i s kriterijem (broj poginulih i ozlijeđenih po kilometru ceste u uvjetima smanjene vidljivosti). Za prediktore koji se pokažu statistički značajno povezani s kriterijem provest će se regresijska analiza. Pomoću navedenih statističkih analiza ustanovit će se u kojoj mjeri se na temelju značajnih prediktora može predviđati broj nesreća s poginulim i ozlijeđenim osobama po kilometru u uvjetima smanjene

vidljivosti. Ovisno o rezultatima, potvrdit će se ili opovrgnuti preliminarno navedena hipoteza o utjecaju kvalitete vertikalne prometne signalizacije na učestalost nastanka prometnih nesreća.

Strukturno je rad podijeljen na sedam poglavlja. Početni dio rada opisuje značenje prometnih znakova, njihove ključne zadaće i podjelu prema značenju. Treće poglavlje naglasak stavlja na važnost uočavanja, prepoznavanja i čitanja prometnih znakova u različitim prometnim situacijama i okruženjima, dok se četvrtim poglavljem detaljno opisuje važnost uporabe prikladnog materijala za izradu prometnih znakova i njihove karakteristike. Pregled sadašnjeg stanja sigurnosti na cestama u Europi i u RH prikazan je u petom poglavlju, dok se u šestom poglavlju analizira utjecaj vidljivosti prometnih znakova na sigurnost prometa. Okosnicu rada čini posljednje, sedmo, poglavlje u kojem se analiziraju prikupljeni i obrađeni podaci o prometnim znakovima i nesrećama te njihov međusobni odnos. Podaci o znakovima te nesrećama bit će detaljnije analizirani kako bi se utvrdilo postojeće stanje.

2. DEFINICIJA I PODJELA PROMETNIH ZNAKOVA

Prometni znakovi dio su cjelokupnog sustava prometne signalizacije kojim se sudionici u prometu upozoravaju na opasnost koja im prijete na određenoj cesti ili dijelu te ceste, stavljaju do znanja ograničenja, zabrane i obveze kojih se sudionici u prometu moraju držati i daju potrebne obavijesti za siguran i nesmetan tok prometa [3].

Prometni znakovi trebaju se postavljati i održavati na način da ih sudionici u prometu mogu, u svim vremenskim i prometnim uvjetima, na vrijeme uočiti te pravovremeno reagirati u skladu s njihovim značenjem. Također, njima se moraju obilježiti i opasnosti privremenog karaktera, osobito one koje nastanu zbog iznenadnog oštećenja ili onesposobljavanja ceste te privremena ograničenja i privremene zabrane u prometu. Ukoliko razlozi za njihovo postavljanje prestanu ili njihovo značenje ne odgovaraju uvjetima odvijanja prometa na cesti ili zahtjevima sigurnosti te ukoliko su oštećeni, uništeni ili ne zadovoljavaju minimalne propisane uvjete retrorefleksije, znakovi se moraju ukloniti, dopuniti ili zamijeniti kako bi se osigurao kvalitetan prijenos informacija sudionicima u prometu.

Kako bi prometni znakovi bili učinkoviti, moraju ispunjavati sljedeće:

- zadovoljavati potrebe sudionika u prometu
- privući pozornost vozača
- prenositi jednostavne i jasne informacije
- pobuđivati respekt vozača i pješaka
- biti smješteni tako da sudionicima u prometu daju dovoljno vremena za pravilnu reakciju [5].

Općenito, prometni znakovi mogu se podijeliti prema nizu čimbenika kao što su: oblik, boja, dimenzije, značenje, načinu izrade, razini retrorefleksije itd. Prema obliku, znakovi se dijele na četiri osnovna oblika: trokut, krug, kvadrat i pravokutnik. Boje, sukladno zakonskoj regulativi u RH, koje se koriste kod izrade prometnih znakova su bijela, žuta, crvena, plava, zelena i crna, te za posebne uvjete narančasta i smeđa [6]. Dimenzije znakova određene su prema kategoriji ceste na kojoj se znak nalazi. Prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 105/04), dimenzije prometnih znakova definirane su dužinom, širinom i polumjerom za pojedine kategorije ceste kao što je prikazano u Tablici 1 [5].

Tablica 1. Dimenzije prometnih znakova prema mjestu postavljanja

| Mjesto postavljanja | Oblik | | |
|--|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | Istostranični trokut [cm] | Krug ili osmerokut [cm] | Kvadrat ili pravokutnik [cm] |
| Autocesta i cesta rezervirana za promet motornih vozila, državne cesta | 120 | 90 | 90 x 90 90 x 135 |
| Županijske ceste i glavne gradske prometnice | 90 | 60 | 60 x 60 60 x 90 |
| Ostale ceste | 60 | 40 | 40 x 40 40 x 60 |
| Umetnuti znakovi | 40 | 30 | - |

Izvor: [5]

Iako postoji niz čimbenika prema kojima se može izvršiti podjela prometnih znakova, najznačajnija je ipak podjela prema njihovom značenju, odnosno funkciji. Sukladno Pravilniku, prometni znakovi se prema značenju dijele na [6]:

- znakove opasnosti
- znakove izričitih naredbi
- znakove obavijesti
- znakove obavijesti za vođenje prometa
- dopunske ploče
- promjenjive prometne znakove.

2.1. Znakovi opasnosti

Znakovi opasnosti sudionicima u prometu označavaju blizinu dijela ceste ili mjesto na koje sudionicima u prometu prijete opasnosti. Imaju oblik istostraničnog trokuta čija se jedna stranica nalazi u vodoravnom položaju, a vrh nasuprot njoj okrenut je prema gore, osim znakova A47 i A48 (Andrijin križ), A49 (približavanje prijelazu ceste preko željezničke pruge s branicima ili polubranicima) i A50 (približavanje prijelazu ceste preko željezničke pruge bez branika ili polubranika). Osnovna boja znakova opasnosti je bijela, rubovi trokuta su crvene boje, a simboli crne boje, osim znaka A25 čija je osnovna boja žuta [6].

Znakovi opasnosti u pravilu se postavljaju izvan naselja na udaljenosti 150 do 250 m ispred opasnog mjesta na cesti. Znakovima opasnosti, koji su postavljeni na udaljenosti manjoj od 150 m ili većoj od 250 m, moraju biti pridružene i dopunske ploče

na kojima se označuje udaljenost od opasnog mjesta zbog kojeg se ti znakovi postavljaju [6].

2.2. Znakovi izričitih naredbi

Znakovi izričitih naredbi upućuju sudionike u prometu na cesti na zabrane, ograničenja i obveze. Imaju oblik kruga, osim znakova B01 (raskrižje s cestom s prednošću prolaska) i B02 (obvezno zaustavljanje). Postavljaju se neposredno na mjesta na kojima za sudionike počinje obveza da se drže naredbe izražene prometnim znakom. Ukoliko se postavljaju na određenoj udaljenosti od mjesta početka naredbe, obavezno im se pridružuje dopunska ploča s dodatnim pojašnjenjem (najčešće udaljenošću do početka naredbe). Osnovna boja znakova zabrane, odnosno ograničenja, je bijela, a rubovi su crvene boje. Boja znakova obveze je plava. Simboli i natpisi na znakovima zabrane, odnosno ograničenja, crne su boje, a na znakovima obveza bijele [6].

2.3. Znakovi obavijesti

Znakovi obavijesti sudionicima u prometu daju potrebne obavijesti o cesti kojom se kreću, nazivima mjesta kroz koja cesta prolazi i udaljenosti do tih mjesta, prestanku važenja znakova izričitih naredbi te druge obavijesti koje im mogu koristiti. Osnovne boje su im [6]: žuta sa simbolima i natpisima crne boje, plava sa simbolima i natpisima bijele boje, zelena sa simbolima i natpisima bijele boje, bijela sa simbolima i natpisima crne, crvene ili plave boje.

2.4. Znakovi obavijesti za vođenje prometa

Znakovi obavijesti za vođenje prometa obavješćuju sudionike u prometu o pružanju cestovnih smjerova, rasporedu odredišta i vođenju prometa prema njima, raskrižjima i čvorištima na određenom smjeru ceste i udaljenostima do odredišta. Osnovna boja znakova obavijesti za vođenje prometa ovisi o kategoriji ceste na koju se postavljaju [6]:

- na autocestama zelena sa simbolima i natpisima bijele boje;
- na brzim cestama plava sa simbolima i natpisima bijele boje;
- na državnim i ostalim cestama žuta sa simbolima i natpisima crne boje,

- za dijelove gradova, naselja i značajne objekte bijela sa simbolima i natpisima crne boje.

U zoni raskrižja, obavješćivanje sudionika u prometu znakovima obavijesti za vođenje prometa provodi se u pet stupnjeva [6]:

- I. prethodno obavješćivanje
- II. obavješćivanje o smjeru kretanja
- III. obavješćivanje o prestrojavanju
- IV. obavješćivanje o skretanju
- V. potvrda smjera.

Na autocestama, brzim cestama i cestama s raskrižjima u više razina mora se postaviti svih pet stupnjeva obavijesti za vođenje prometa. Na državnim cestama postavljaju se drugi, četvrti i peti stupanj, a treći ako je cesta s više prometnih traka. Na županijskim cestama postavljaju se drugi i četvrti stupanj, a na ostalim cestama najmanje četvrti stupanj obavijesti za vođenje prometa [6].

2.5. Dopunske ploče

Dopunske ploče postavljaju se uz znakove opasnosti, znakove izričitih naredbi i znakove obavijesti ispod njihovog donjeg ruba kako bi pobliže odredile značenje tih znakova. Osnovna boja je bijela, a simboli su crne boje. Širina dopunske ploče postavljene uz znak na cesti ne smije biti veća od dužine one stranice znaka uz koji se dopunska ploča postavlja. Visina dopunske ploče, u pravilu, ne smije iznositi više od polovice njezine dužine [6].

2.6. Promjenjivi prometni znakovi

Prometni znakovi mogu u cijelosti ili djelomice biti izvedeni kao promjenjivi prometni znakovi ako je potrebno zbog prometne sigurnosti ili prometno-tehničkih zahtjeva. Prema izvedbi promjenjivi prometni znakovi mogu biti kontinuirani i nekontinuirani. Kontinuirani znakovi su oni koji su izglednom jednaki stalnim prometnim znakovima, a jedina razlika je da uporabom elektromehaničkih sredstava mogu prikazivati različite poruke. Nekontinuirani znakovi su oni kod kojih je moguća inverzija boja i pojednostavljen prikaz simbola u odnosu na stalne prometne znakove. Poruke se oblikuju uporabom pojedinačnih elemenata koji mogu biti u jednom od dva stanja (ili više), čime mogu oblikovati različite poruke na istoj prednjoj strani znaka [5].

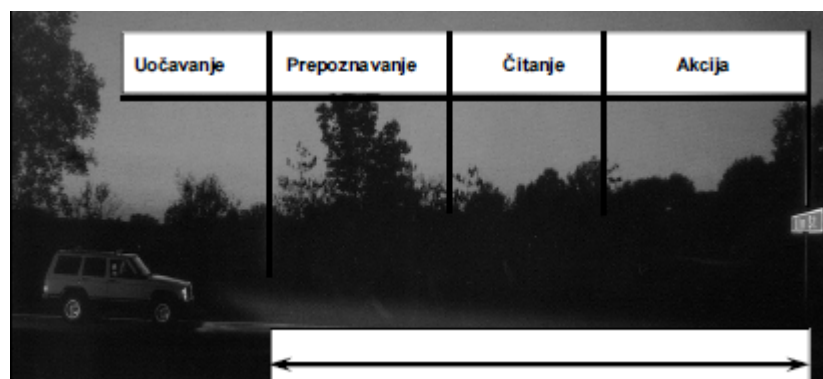
S obzirom na njihovu funkciju, promjenjivi nekontinuirani znak u slučaju kvara jednog dijela ili pregaranja izvora svjetlosti ne smije promijeniti svoje značenje, odnosno mora biti bez signalnog pojma. Tijekom normalnih uvjeta vožnje na cesti, signalni pojmovi na promjenjivim nekontinuiranim prometnim znakovima moraju biti ugašeni. Kad se predviđa ili nastane promjena normalnih uvjeta vožnje na cesti, ovisno o nastalim promjenama, automatski se uključuje za to predviđeni signalni pojam, koji mora biti u funkciji do ponovne uspostave normalnih uvjeta vožnje. Kada se odnosi na ograničenje brzine, promjenjiv nekontinuirani prometni znak uvijek se postavlja iza statičnog prometnog znaka ograničenja brzine gledano u smjeru vožnje [6].

3. ELEMENTI VIDLJIVOSTI PROMETNIH ZNAKOVA

Kao što je ranije navedeno, vizualna informacija prometnih znakova daje sudionicima u prometu osnovne upute koje se tiču odabira rute, sigurnosti na raskrižjima, različitim upozorenjima, ograničenjima i obavijestima. Kontakt vozača i prometnog znaka u toku vožnje događa se u nekoliko sekundi, a samo vrijeme trajanja kontakta ovisi o nizu čimbenika među kojima je brzina vožnje najznačajniji. Općenito, kontakt vozača i prometnog znaka događa se u tri faze [5]:

- uočavanje
- prepoznavanje
- čitanje.

U prvoj fazi (uočavanje) vozač percipira postojanje određenog objekta za koji, s obzirom na njegovu poziciju, pretpostavlja da je prometni znak. Drugim riječima, vozač otkriva i registrira najmanju površinu koju ljudsko oko može otkriti u kontaktu s okolinom. U drugoj fazi (prepoznavanje) vozač raspoznaje znak po boji i obliku, a time automatski i kategoriju znaka, odnosno vrstu poruke s obzirom da su pojedini oblici i boje na znaku specifični za određenu kategoriju znakova. Iako, vozač percipira oblik i boje što mu omogućava generalno prepoznavanje vrste poruke, u fazi prepoznavanja vozač ne čita sam simbol na znaku, odnosno ne percipira točno značenje znaka. U zadnjoj fazi (čitanje) vozač percipira poruku, odnosno simbol znaka te sukladno njoj prilagođava svoje ponašanje. Čitanje je ujedno i najsloženija faza jer do izražaja dolazi oblik i veličina simbola i slova, međusobni raspored i kontrast između podloge i simbola i slova. Faze percepcije prometnog znaka prikazane su na Slici 1.



Slika 1. Faze percepcije prometnog znaka

Izvor: [5]

Kako bi prometni znakovi mogli ispuniti svoju funkciju i pravovremeno prenijeti informaciju vozačima, vozači ih moraju, ne samo danju, nego i noću i u uvjetima otežane vidljivosti, pravovremeno i točno percipirati. Tijekom dana vozači imaju mogućnost uočiti i obraditi svaku, za upravljanje vozila potrebnu, vidljivu informaciju. Tijekom sumraka, noću i za vrijeme otežanih uvjeta vidljivosti sposobnost vida znatno se smanjuje. Za razliku od vožnje danju, kada na vidljivost djeluje manji broj ograničavajućih čimbenika, noću smanjena vidljivost dodatno sužava protok informacija.

Na vidljivost prometnog znaka, a time i njegovu percepciju, utječe niz čimbenika koji ovise o tome sa kojih ih se stajališta i u kojim uvjetima promatra, no sve njih može se generalno podijeliti u tri skupine [7]:

- posljedica utjecaja okoline
- posljedica utjecaja vozača
- posljedica utjecaja vozila.

Problemi zbog utjecaja okoline pojavljuju se u dva oblika. Prvi je vezan uz utjecaj atmosferskih prilika, odnosno pojave kiše, snijega, mraza, rose i magle. Glavna karakteristika oborina u smislu vidljivosti je to da one apsorbiraju i raspršuju svjetlo te na taj način umanjuju količinu svjetla koja iz vozila dopire do objekta, a time i količinu svjetla koje se reflektira od objekta i vraća do vozačeva oka. U uvjetima magle i rose, svjetlo farova kao i retroreflektirajućih materijala skreće se i filtrira prolaskom kroz maglu, smanjujući time njihovo djelovanje. Snijeg poput prljavštine pokriva retroreflektirajuće materijale, ali snijeg raspolaže visokim faktorom sjaja te je stoga lako vidljiv pod svjetlima farova pa se ističe u odnosu na tamnije ceste i objekte uz cestu. Mraz se smatra štetnim za retroreflektirajuće znakove iako to nije potvrđeno, međutim uslijed utjecaja kristala mraza uništavaju se optička svojstva retroreflektirajućih materijala koji postaju neučinkoviti [8].

Drugi problem vezan uz okolinu, nastaje zbog karakteristika pozadine („vizualnog nereda“) koje utječu na uočljivost objekta. Predmeti koji odvlače pozornost, kao što su razne reklame, česta su pojava tijekom vožnje naročito u urbanim dijelovima (Slika 2). Zbog velikih dimenzija i raznolikih boja reklame „mame“ oko vozača te time utječu na percepciju prometnih znakova [8].



Slika 2. Smanjena vidljivost prometnog znaka u urbanoj sredini

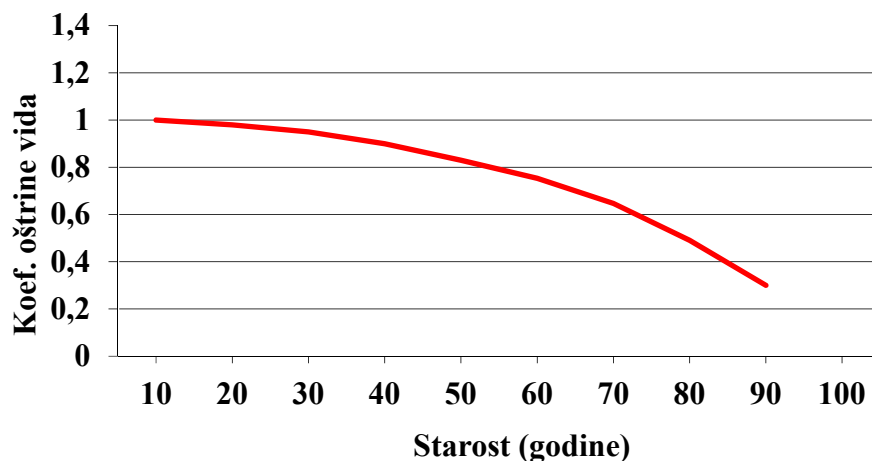
Izvor: [9]

U takvim uvjetima je potrebno trostruko povećati retrorefleksiju znakova za jednake udaljenosti kako bi se osiguralo njihovo uočavanje od strane vozača [10]. Dodatno, položaj trase ceste, njezina širina, položaj i dimenzije znaka stavljaju znak na promjenjive udaljenosti i položaje unutar polja doseg prednjih svjetala i time utječu na proces percepcije znaka.

Problemi uzrokovani vozilom vezani su uz vjetrobransko staklo i farove. Vjetrobranska stakla jedan su od ključnih elemenata u vozilu čija je glavna funkcija zaštita vozača od vjetrova, letećih predmeta i elemenata uz istovremeno omogućavanje vozaču da vidi cestu. Zagađivači, površinska oštećenja i ogrebotine raspršuju svjetlo koje prolazi kroz staklo, smanjujući vidljivost i povećavajući efekt bljeska. Provedene studije, pokazale su da se vjerojatnost otkrivanja objekata smanjuje s 91% kod čistog vjetrobranskog stakla na 73% kod vjetrobranskog stakla na kojemu je bila umjerena razina zamagljenosti ili prljavštine [7]. Na vidljivost, naročito noću i u lošim vremenskim uvjetima, utječu i farovi. Učinkovitost rada farova ovisi o njihovoj pravilnoj usmjerenosti i tehničkoj ispravnosti. Prljavština na farovima ima utjecaj na kvalitetu svjetla iz farova, osobito za vrijeme vlažnog vremena. Tijekom mokrog i bljuzgavog vremena kod većine automobila je korisno osvjetljenje više nego upola smanjeno. Čak i male količine prljavštine na farovima uzrokuju apsorpciju i raspršenje svjetla, smanjujući "korisnu" izlaznu svjetlost. Zbog prljavštine na farovima dolazi do 50% smanjenja izlaza svjetla,

što ima za posljedicu oko 10% smanjenja vidljivosti prema naprijed za kratka svjetla, a oko 15% smanjenje za duga svjetla [8].

Problemi koje uzrokuje vozač dijele se na povremene i stalne. Povremeni problemi vezani su uz umor, utjecaj lijekova, alkohola i droga te stres. Stalni problemi vezani su uz gubitak oštine vida, sljepoća na boje, noćna sljepoća, mrena i kratkovidnost. Stariji vozači generalno pokazuju slabije rezultate u testovima uočavanja znakova, njegove identifikacije i udaljenosti na kojoj se on može pročitati upravo zbog slabljena koeficijenta oštine vide, kao što je prikazano na Grafikonu 1 [7].



Grafikon 1. Oštrina vida s obzirom na starosnu dob vozača

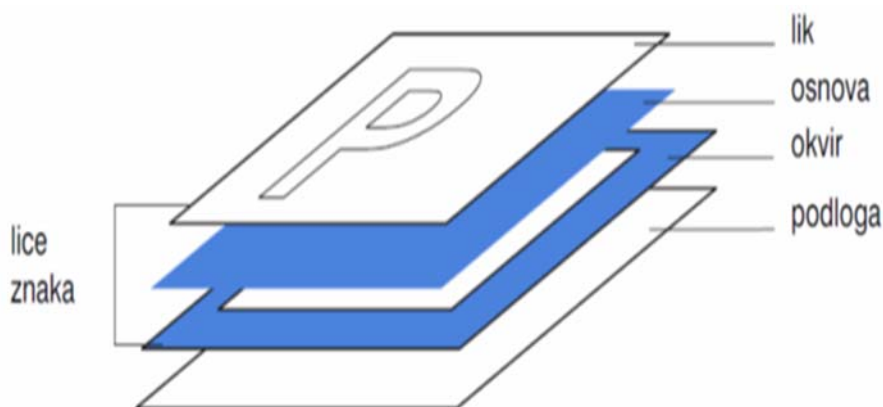
Izvor: [5]

Čimbenici koji pomažu prepoznavanju znaka su njegova veličina, jednakost simbola, boja znaka i retrorefleksija. S obzirom da vožnja tijekom noći i u uvjetima smanjene vidljivosti predstavlja najsloženije uvjete vožnje za prometnu sigurnost, nužno je osigurati zadovoljavajuću razinu vidljivosti prometnih znakova. Kako bi znakovi bili vidljivi u navedenim uvjetima oni moraju biti izrađeni od retroreflektirajućih materijala.

4. MATERIJALI ZA IZRADU PROMETNIH ZNAKOVA

Kako bi prometni znakovi ispunjavali svoje zadaće, nužno je da su njihova konstrukcijska svojstva prilagođena zahtjevnim uvjetima eksploatacije. Drugim riječima, prometni znakovi moraju biti otporni na sve uvjete okoline te uz to zadovoljavati minimalnu propisanu razinu retrorefleksije.

Osnovni dijelovi prometnog znaka su lice znaka i podloga (Slika 3). Lice znaka je prednja strana znaka, odnosno ona koju sudionik u prometu vidi kada se približava prometnom znaku, a sastoji se od lika, osnove i okvira. Lice znaka izrađuje se od retroreflektirajućih materijala, odnosno folija. Lik znaka čine simboli i/ili natpisi. Osnova znaka je element na kojem je upisan lik i nalazi se neposredno ispod simbola i teksta. Okvir je onaj dio znaka koji uokviruje ili zatvara simbol, odnosno natpis. Podlogu znaka predstavlja dio znaka na kojem se nalazi osnova znaka sa svim elementima [5].



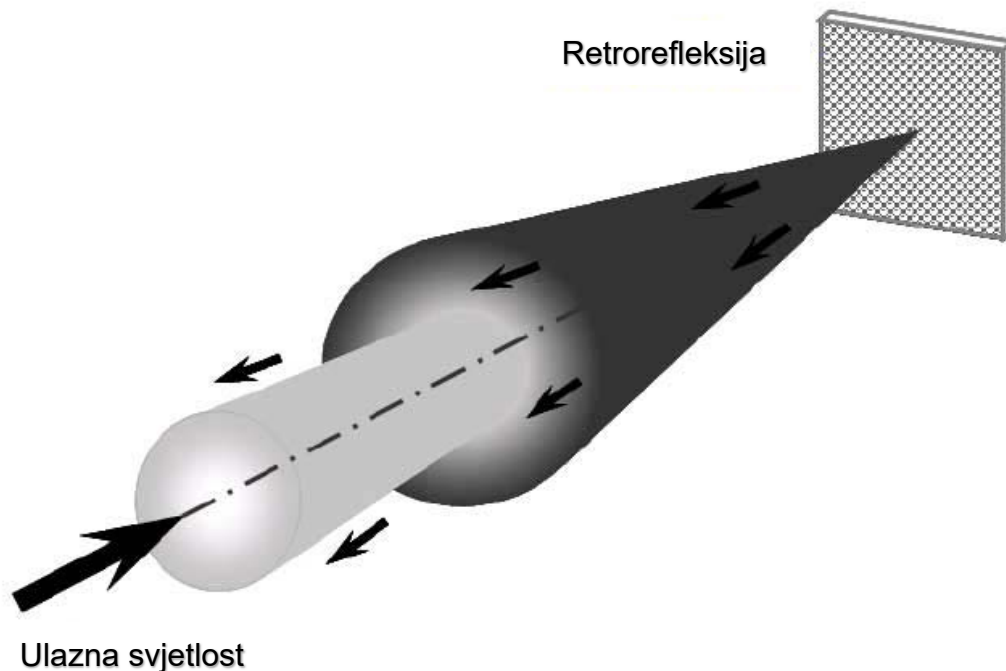
Slika 3. Sastavni dijelovi prometnog znaka

Izvor: [8]

Podloga prometnog znaka izrađuje se od aluminijskog lima debljine 2-4,5 mm. Iz lima većih dimenzija izrezuje se oblik prometnog znaka. Znak se po obodu savija radi sprječavanja savijanja te smanjenja posljedica prometnih nesreća (uklanjanje oštih rubova), ukoliko dođe do nje. Pozadina znaka lakirana je sivom bojom, a razlog tome je sprječavanje bliještenja i zaslepljivanja vozila iz suprotnog smjera [5].

Prilikom izrade prometnog znaka, ovisno o kategoriji cestovne prometnice za koju je predviđen, treba primijeniti retroreflektivnu foliju određenoga tipa i određene klase retrorefleksije koja mora zadovoljavati minimalnu razinu retrorefleksije (izražene u $\text{cd}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) za pojedinu boju.

Retroreflektirajući materijali od kojih se izrađuju prometni znakovi, baziraju se na sposobnosti retrorefleksije pomoću koje vraćaju dolazno svjetlo (prednja svjetla vozila) natrag u smjeru svog izvora, točnije prema očima vozača (Slika 4). Upravo zbog tog svojstva, retrorefleksija omogućuje odličnu vidljivost noću i u uvjetima smanjene vidljivosti.



Slika 4. Princip retrorefleksije

Izvor: [11]

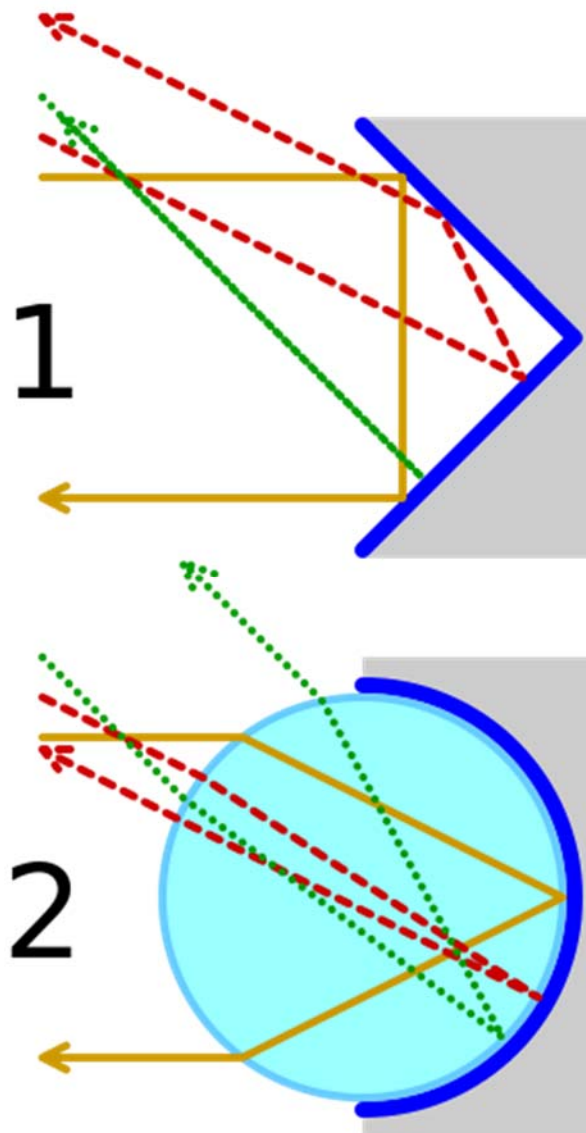
Ovisno o vrsti reflektirajućeg materijala, retrorefleksija može biti [5]:

- sferična
- prizmatična.

Kod sferične retrorefleksije staklena kuglica lomi ulazni trak svjetlosti pri prolasku kroz prednju površinu staklene kuglice, zatim se svjetlost reflektira sa zrcalne površine iza kuglice, te se ponovnim prolaskom kroz prednju površinu svjetlost lomi i reflektira u smjeru svog izvora [5].

Kod prizmatične retrorefleksije tri jednake okomite površine čine prizmu na kojoj se ulazna svjetlost lomi i reflektira u smjeru svog izvora usporedno s ulaznim svjetlom. Prizmatični reflektori su daleko savršeniji u odnosu na sferične i karakterizira ih veliki koeficijent retrorefleksije [5].

Slika 5 prikazuje kretanja ulazne i reflektirane zrake svjetlosti pri nailasku na prizmatičnu i sferičnu površinu.



Slika 5. Prizmatična (1) i sferična (2) retrorefleksija

Izvor: [12]

Prvi retroreflektirajući materijali za prometne znakove izrađeni su 1939. godine u tvrtki 3M u Minnesoti u SAD-u [8]. Danas su u primjeni 3 tipa retroreflektirajućih materijala:

- Materijal Klase I – Engineer Grade
- Materijal Klase II – High Intensity Grade
- Materijal Klase III – Diamond Grade.

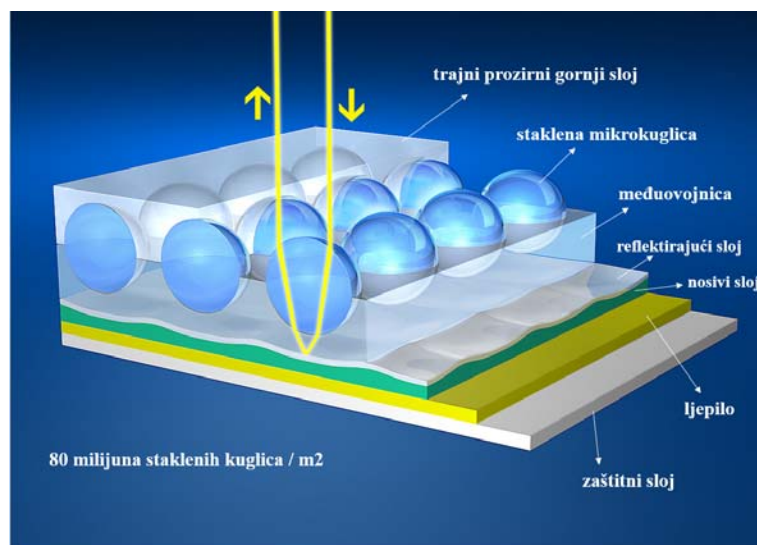
Temeljna razlika između ovih klasa materijala je snaga retrorefleksije, tj. količina svjetla koja se reflektira s retroreflektirajućeg materijala. Količina svjetla mjeri se u

jačini reflektiranog svjetla u odnosu na ulazno svjetlo po površini reflektirajućeg materijala ($\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

4.1. Materijali klase I – Engineer Grade

Prometni znakovi s retroreflektirajućim materijalima Klase I izrađuju se od 1959. godine. Glavno obilježje materijala klase I je da ispod tankog gornjeg prozirnog sloja sadrži ugrađene mikrosfere (staklene mikrokuglice). Materijali s ugrađenim staklenim sferama imaju uniformirani izgled bez ikakvog uzorka. Budući da je retrorefleksija sferična, snaga retrorefleksije ovih folija je oko $70 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, a najčešći garancijski rok je sedam godina. Osim materijala klase I baziranih na sferičnoj retrorefleksiji, postoje i materijali klase I s mikroprizmama. Ovakvi materijali imaju povećanu snagu retrorefleksije [5]. Materijali klase I najčešće se koriste na područjima sa slabijim intenzitetom prometa, odnosno na cestama s manjim dozvoljenim brzinama vožnje.

Na Slici 6 prikazan je presjek folije klase I, na kojem se mogu vidjeti slojevi i komponente od kojih je folija klase I sastavljena. Ispod trajnog prozirnog gornjeg sloja nalaze se mikrokuglice, koje su umetnute u reflektirajući sloj i obavijene međuovojnicom. Ispod reflektirajućeg sloja nalazi se nosivi sloj na koji je ljepljivom vezan zaštitni sloj koji se otklanja prilikom aplikacije.



Slika 6. Materijal klase I - Engineer Grade

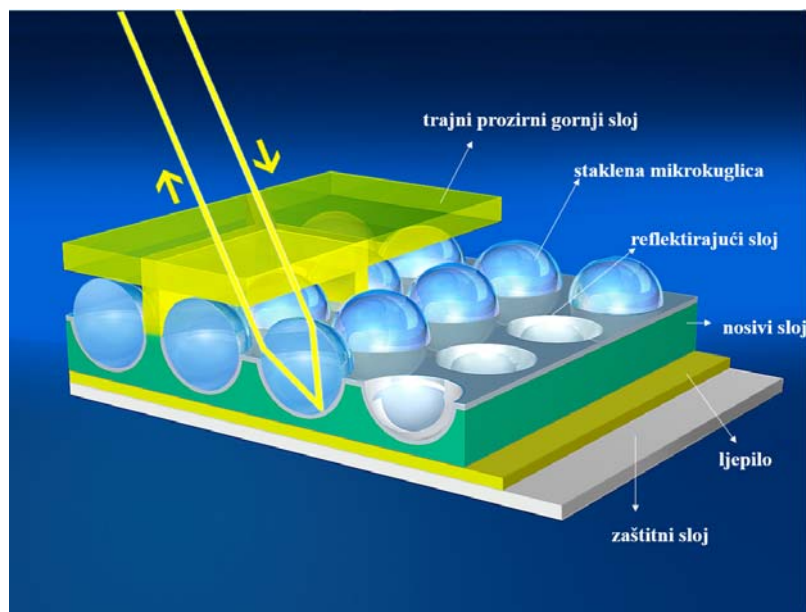
Izvor: [8]

4.2. Materijali klase II – High Intensity Grade

Ove reflektirajući materijali sadrže učajurene staklene mikrokuglice koje su trostruko sjajnije od novih reflektirajućih folija klase I. Struktura površine folije nalikuje na saće, a čine ju nosive stranice koje osiguravaju zrakoprazni prostor ispod površinskog sloja. Mikrokuglice se ne ulijevaju u plastiku, već su nalijepljene na plastični nosač, a njihov gornji dio nalazi se u zraku napunjenoj kapsuli koja je zatvorena tankim prozirnim gornjim slojem. U odnosu na materijale klase I, materijali klase II nemaju međuovojnicu koja obavlja mikrokuglice već su one izravno umetnute u reflektirajući sloj. Struktura materijala je prikazana na Slici 7.

Snaga retrorefleksije ove reflektirajuće folije je oko $250 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ dok je njihovo jamstvo deset godina [5]. Znakovi izrađeni od folije klase II jasno su vidljivi, čak iz širokoga kuta gledanja.

Danas postoje i materijali klase II izrađeni od trajnog materijala s mikroprizmama (optičkih prizmatskih leća) oblikovanih u prozirnoj sintetskoj smoli, hermetički zatvorenih i s ljepilom aktiviranim na pritisak na poledini, čime se ostvaruje trajno pričvršćivanje na supstrate prometnih znakova.



Slika 7. Materijal klase II - High Intensity Grade

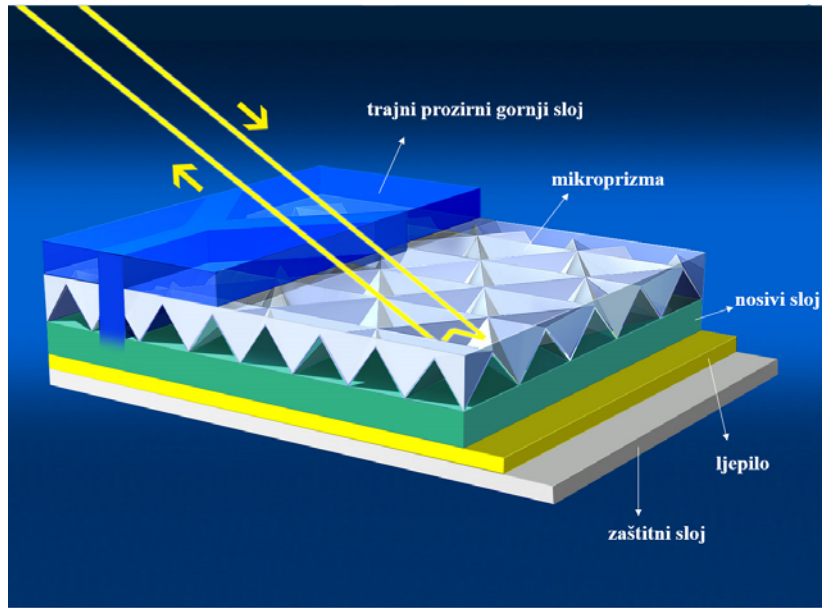
Izvor: [8]

4.3. Materijali klase III – Diamond Grade

Materijal klase III izrađen je od vrlo učinkovitih mikroprizama zahvaljujući kojima su više nego trostruko sjajnije od folija s učahurenim staklenim mikrokuglicama i čak deseterostruko sjajnije od folija s uvezanim staklenim mikrokuglicama. Strukturu ovog materijala čine isključivo mikroprizme koje se nalaze na nosivom sloju, a preko njihovog gornjeg dijela nalazi se tanki prozirni sloj, kao što je vidljivo na Slici 8. Materijali klase III ne sadrže ni reflektirajući sloj jer svojom strukturom, učinkovitim mikroprizmama, vraćaju znatno više raspoloživog svjetla nego materijali klase I i II. Vozačima na prometnicama omogućuju veću uočljivost znakova u svim dnevnim, noćnim i lošim vremenskim uvjetima. Dopuštajući ulazne kutove svjetlosnog traka do 60 stupnjeva, ove folije pružaju veliku fleksibilnost u postavljanju znakova. Među svim trajnim folijama za izradu znakova, ove folije raspoložuju najsjajnijim reflektirajućim svojstvima. Zbog svoje strukture ovaj materijal je deblji u odnosu na druge materijale, što stvara određene probleme u procesu proizvodnje. Također njegov jedinstveni dizajn „puna kocka“ vraća gotovo 60% raspoloživog svijetla, dva puta više od drugih prizmatičnih folija što vozačima omogućuje veću vidljivost u svim dnevnim, noćnim i lošim vremenskim uvjetima. Jamstvo trajnosti retrorefleksije je 12 godina, a sjaj folije je $800 \text{ cd} \cdot \text{l} \cdot \text{x}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ [5]. Postoje četiri vrste reflektirajućih folija materijala klase III [5]:

- V.I.P. (Visual Impact Performance)
- L.D.P. (Long Distance Performance)
- Fluorescent
- Diamond Grade Cubed (DG³).

Najbolja učinkovitost u gradskom prometu i na kraćim udaljenostima postiže se primjenom V.I.P. reflektirajuće folije kojom se pojedini prometni znakovi jasno i nedvosmisleno mogu izdvojiti iz okruženja, dok L.D.P. reflektirajuće folije se isključivo primjenjuju na autocestama i brzim cestama, gdje je potrebno osigurati vidljivost prometnog znaka na puno većoj udaljenosti. Fluorescent folije omogućuju povećanu vidljivost i danju i noću, korištenjem fluorescentnih boja. Naposljetku, Diamond Grade Cubed reflektirajuće folije predstavljaju kombinaciju V.I.P. i L.D.P., stoga se mogu primijeniti i na gradskim cestama i na autocestama.

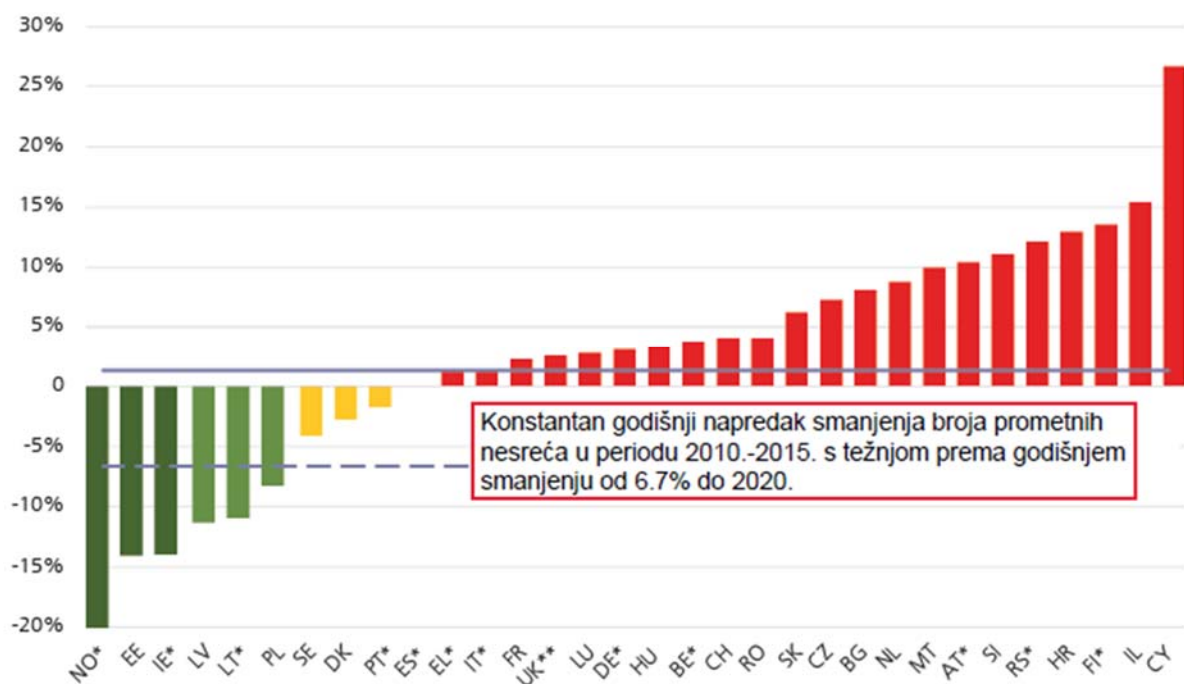


Slika 8. Materijal Klase III – Diamond Grade

Izvor: [8]

5. STANJE SIGURNOSTI NA CESTAMA U EUROPI I RH

Prema statističkim podacima iz [2], prebrza vožnja te neiskustvo mladih vozača, uz druge indirektno čimbenike, najčešće dovodi do nastanka teških prometnih nesreća na cestama EU. Prometna nesreća je događaj na cesti, izazvan kršenjem prometnih propisa, u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu i u kojem je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula, ili u roku od 30 dana preminula od posljedica te prometne nesreće, ili je izazvana materijalna šteta [1]. Usprkos mnogim težnjama i metodama za sprječavanje nastanka istih, u posljednje dvije godine nije zabilježen značajan napredak. Od 32 promatrane države u Europi, samo u Španjolskoj nije došlo do povećanja ili smanjenja broja prometnih nesreća dok su značajne mjere poduzete u devet zemalja. Kako bi se smanjio broj prometnih nesreća, naročito onih s teškim i fatalnim posljedicama, nužno je sustavno strategijsko djelovanje na sve segmente cestovnog prometa. Najveće mjere prevencije poduzete su u Norveškoj, gdje je zabilježen pad broja prometnih nesreća za 20% od 2014. do 2015. godine te ju slijede Estonija i Irska s 14% i Latvija i Litva s 11% (Slika 9).



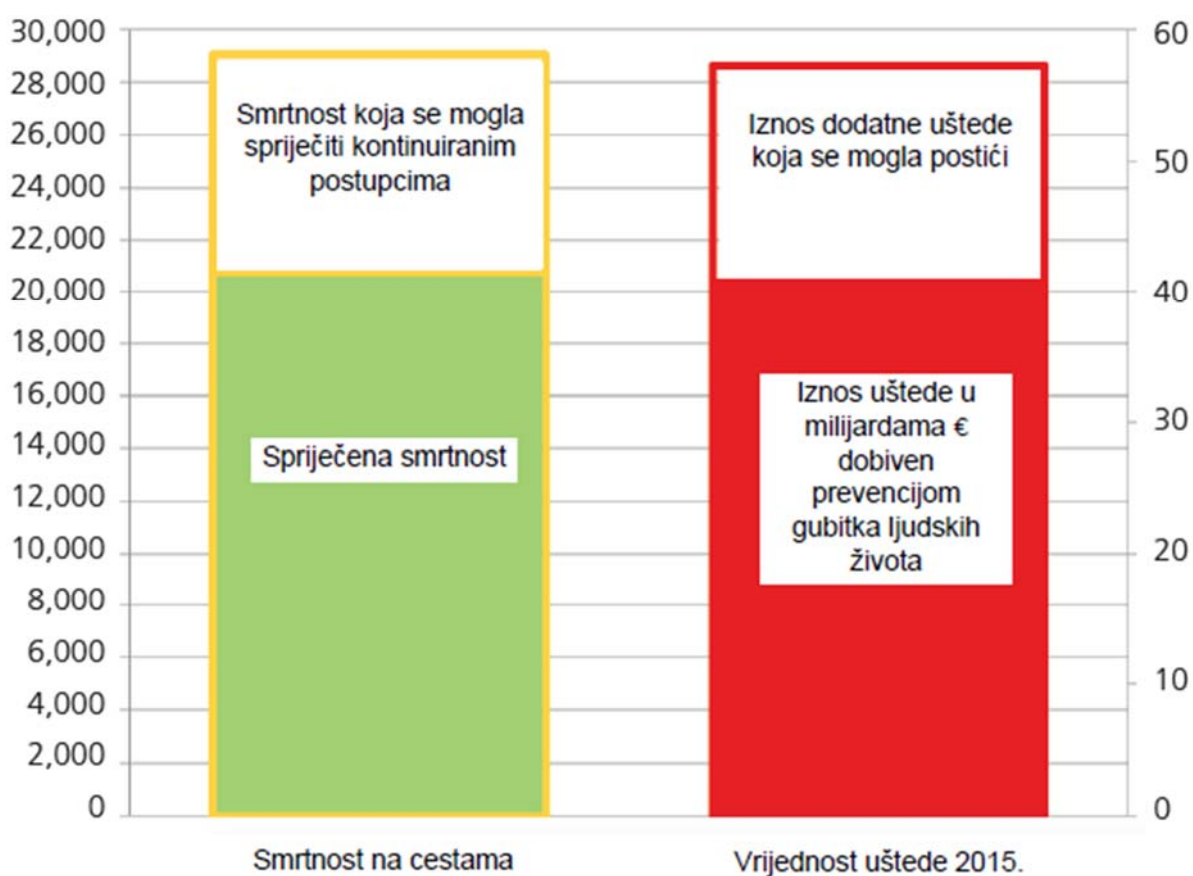
Slika 9. Relativna promjena smrtnosti na cestama tijekom 2014. i 2015.

Izvor: [2]

U RH, smrtnost osoba u prometu se povećala s 308 na 348 osoba u periodu promatranja od 2014. do 2015. godine [2]. Njemačka također bilježi porast broja poginulih osoba od 2013. do 2014. godine za 1%, odnosno povećanje broja poginulih

s 3.368 u 2014. na 3.475 tijekom 2015. godine, dok Finska za isti period bilježi porast broja stradalih na cestama za čak 14% [2].

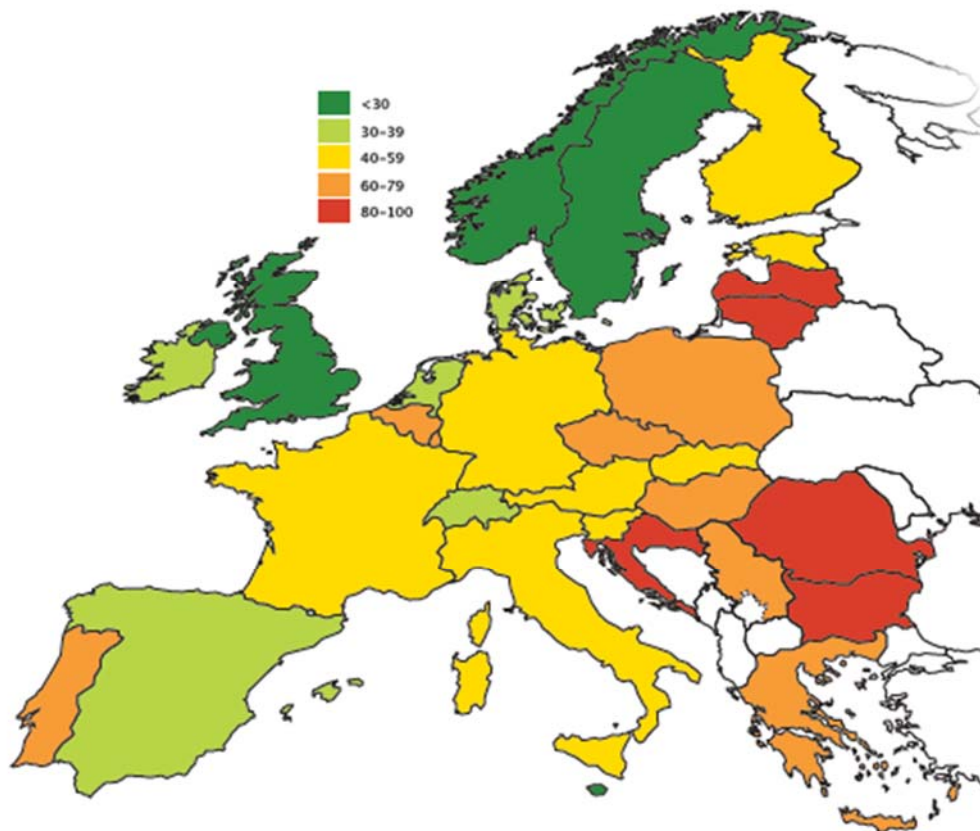
Ukupna vrijednost troškova smrtnosti na cestama 2015. godine u usporedbi s 2010. je procijenjena na 10.4 milijarde eura. U periodu od 2011. do 2015. godine smanjenje troškova stradanja osoba u prometu u usporedbi s vrijednošću troškova 2010. godine iznosi oko 40.6 milijarde eura. Kao što je prikazano na Slici 10, smanjenje smrtnosti na cestama će doprinijeti smanjenju troškova društva sa 16.7 milijarde eura na 57.3 milijarde eura, ukoliko europske države nastave kontinuirano težiti prema ostvarenju cilja, smanjenja broja prometnih nesreća i stradanja od 6.7% godišnje do 2020. godine [2].



Slika 10. Prikaz smrtnosti na cestama u Europi i uštede od prevencije nastanka iste
Izvor: [2]

Ukoliko se razmatra omjer smrtnosti na cestama u Europi u odnosu na milijun stanovnika, tada je potrebno pažljivo razmotriti prikazane vrijednosti na Slici 11. Norveška je 2015. godine bila vodeća zemlja koja je uspjela smanjiti smrtnost na cestama te su je slijedile Malta, Švedska i Ujedinjeno Kraljevstvo s manje od 30 poginulih na milijun stanovnika dok je zastrašujući podatak zabilježen u Švicarskoj,

Danskoj, Španjolskoj, Irskoj i Nizozemskoj od 35 do 38 poginulih na milijun stanovnika. Najgori scenarij je u Bugarskoj, Rumunjskoj i Latviji gdje je smrtnost veća od 90 na milijun stanovnika.



Slika 11. Prikaz odnosa smrtnosti na cestama na milijun stanovnika po državama u Europi

Izvor: [2]

Kao što je vidljivo na Slici 11, Hrvatska se nalazi u području velikog broja poginulih osoba na milijun stanovnika, što je vrlo zabrinjavajući podatak te je potrebno sustavno poduzimati bitne strukturalne promjene koje bi dovele do povećanja sigurnosti na cestama i smanjenja broja prometnih nesreća.

Općenito gledajući, napredak u poboljšanju cestovne sigurnosti, osim uvođenja brojnih mjera i programa prevencije, nužan je i s aspekta održavanja prometne infrastrukture čiji važan segment predstavljaju prometni znakovi.

6. UTJECAJ VIDLJIVOSTI PROMETNIH ZNAKOVA NA SIGURNOST PROMETA

Prometni znakovi, odnosno vertikalna prometna signalizacija, jedan su od ključnih elemenata suvremene i dobro održavane prometne infrastrukture. Osim što pomažu u regulaciji prometnog toka i pružaju značajne informacije za vizualno vođenje prometa, upozoravaju vozače na potencijalne stalne te izvanredne opasne situacije na cesti, što je posebno važno tijekom vožnje noću. Funkcionalnost prometne signalizacije ovisi o njihovoj vidljivosti i prepoznatljivosti u uvjetima dnevne i noćne vožnje. Za vrijeme vožnje danju, važno je da boje na licu znaka, odnosno njegovom simbolu, nisu izbljedile što može utjecati na čitanje poruke koju znak sadrži. Što se tiče funkcije znaka noću, ključna je retrorefleksija, odnosno sposobnost znaka da vrati dovoljnu količinu svjetla odaslanog iz farova vozila natrag prema oku vozača. Navedeno ukazuje na potrebu redovitog održavanja prometnih znakova i zamjenu starih i oštećenih znakova novima.

Gledano na europskoj razini, populacija postaje sve starija, što znači da se i prometna infrastruktura mora adaptirati potrebama rastućeg segmenta korisnika ceste, kod kojih dolazi do smanjenih vizualnih sposobnosti i sporijeg reagiranja, odnosno produženog vremena reakcije. Procijenjeno je da će postotak starijih vozača (iznad 65 godina) narasti s 17,5% u ukupnoj populaciji u 2011. godini, na 23,6% u 2020. godini, odnosno progresivno se povećavati do 2050. godine u kojoj se očekuje porast na 28,6% [3].

U pravilu, vozači iznad šezdesete godine života pokazuju sporije vrijeme reagiranja u usporedbi s mlađim vozačima, što je rezultat postupnog slabljenja preciznosti i oštine vida, poteškoće kod gledanja na blizu, promjene u percepciji boja, problemi uočavanja pri slabom svjetlu ili noću. Na Slici 12, prikazan je pogled na cestu iz perspektive dvadesetogodišnjeg vozača, promjena kroz godine te naposljetku pogled iz perspektive šezdesetogodišnjeg vozača iz čega se može jasno uočiti kako je količina elemenata prometne infrastrukture koju starije osobe vide znatno smanjena.



Slika 12. Usporedba promjene viđenja boja ovisno o starosti vozača

Izvor: [3]

Ceste ne mogu biti sigurne dugoročno, osim ako se ne osigura njihovo redovito održavanje. Ulaganja u prometnu infrastrukturu u zadnjem desetljeću, zajedno s napretkom u tehnologiji proizvodnje vozila i obuke vozača, doprinijela su padu broja prometnih nesreća za više od 50% [3]. Iz Slike 13, koja prikazuje liniju trenda kretanja broja smrtno stradanih osoba na cestama Europske Unije za razdoblje 2001.-2020. godine, jasno je vidljiv značajan pad broja poginulih 2010. godine u odnosu na 2001. godinu.



Slika 13. Trend kretanja smrtnog stradavanja na cestama u EU

Izvor: [13]

Nakon 2009. godine i vrhunca ekonomske krize, došlo je do značajnog smanjenja sredstava koja su ulagana u cestovnu infrastrukturu. Prema Međunarodnom transportnom forumu (*eng. International Transport Forum*), u ukupnom iznosu uloženom u cestovnu infrastrukturu, udio ulaganja u održavanje cesta se smanjuje, pogotovo u nekoliko posljednjih godina. Postotak sredstava uložениh u održavanje cesta pao je ispod 30% od ukupnih ulaganja u ceste s visokih 36% u ranim 2000-tima [14].

Padajući trend u ulaganja u održavanje cesta također ima utjecaj na održavanje prometnih znakova, što rezultira time da se znakovi koji više tehnički nisu ispravni ne zamjenjuju novima. U Njemačkoj je na cestama 25 milijuna prometnih znakova. Uslijed kroničnog nedostatka održavanja, procijenjeno je da oko 8 milijuna prometnih znakova više ne ispunjava svoju zadaću (33% od ukupnog broja znakova), s time da je 25% znakova starijih od 15 godina [3]. Prosječna starost prometnih znakova u Francuskoj je 17 godina, dok je njihov funkcionalni vijek trajanja 8-12 godina [3]. Na državnim cestama u Republici Hrvatskoj, od 149.435 prometnih znakova, njih 28,88% ne zadovoljava tehničku ispravnost te prosječna starost prometnog znaka koji ne zadovoljava iznosi 8,5 godina [4]. Prosječna starost je relativno mala u odnosu na zabilježenu istu u Francuskoj zbog većeg broja novoizgrađenih cesta. Posljedica navedenog je da 40-50% znakova nema zadovoljavajući prometni učinak i nije u skladu s nacionalnim zakonodavnim zahtjevima [3].

Iako znakovi predstavljaju osnovna sredstva komunikacije između sudionika u prometu i cestovnih vlasti, zbog kompleksnosti prometnih nesreća utjecaj prometnih znakova na sigurnost vrlo je teško istražiti. Usprkos tome, niz studija je pokazalo pozitivan učinak kvalitetnog održavanja prometnih znakova na opću sigurnost cestovnog prometa.

Zaklada za sigurnost u prometu u Ujedinjenom Kraljevstvu je 2013. godine izdala izvješće o praćenju stanja sigurnosti na britanskim glavnim mrežama cestovnih prometnica. Referenta razdoblja bila su 2002.-2006. i 2007.-2011., a u izvješću su izneseni podaci analize prije-poslije na određenim dionicama cesta na kojima se pokazao najveći napredak u sigurnosti kroz ova dva perioda. Analiza je pokazala kako su prometni znakovi (bilo kao zamjena i poboljšanje postojećih znakova ili postavljanje novih) jedan od faktora koji doprinosi sigurnosti na sedam od deset analiziranih prometnica, što je dovelo do čak 87% smanjenja sveukupnog broja stradalih [3].

U svrhu pripreme desetogodišnjeg plana vlade za razdoblje 2006.-2015., 2002. godine objavljeno je izvješće pod nazivom *Efektivnost mjera za sigurnost u prometu*. U navedenom izvješću izvršena je procjena zahvata u prometu koji zahtijevaju manja financijska sredstva u Norveškoj u proteklim godinama u svrhu analize troškova i koristi. U izvješću je zaključeno kako je označavanje opasnih zavoja najpovoljnija zaštitna mjera na cestama s prosječnom cijenom zahvata od 8.000€ i umanjenim troškovima za faktor 3,5:1 [15], [16].

U Australiji je 2012. godine Ministarstvo prometa provelo naknadnu analizu svog Nacionalnog programa o crnim točkama. Evaluacija je obuhvatila 1.599 projekata s crnim točkama tijekom sedam godina, od 1996. do 2003. godine. Procijenjeno je kako je program smanjio smrtna stradavanja i broj ozlijeđenih na tretiranim lokacijama za 30% te broj prometnih nesreća s materijalnom štetom za 26%. Od različitih mjera koje su provedene, prometni znakovi su se pokazali kao najpovoljniji, odnosno s najboljim odnosom troškova i koristi. Preciznije, za znakove koji označavaju prednost prolaska te za znakove vođenja prometa procijenjen je odnos troškova i koristi između 15:1 i 20:1, ovisno o financijskoj postavci projekta. Ostali zahvati vezani za prometne znakove s visokom stopom povrata su postavljanje znakova opasnosti i promjenjivih prometnih znakova, za koje je određen omjer troškova i koristi od 14 ili 9 s odgovarajućom diskontnom stopom [17].

Iz prethodno navedenog može se zaključiti da znakovi pozitivno utječu na sigurnost prometa, ali i da je nužna daljnja evaluacija njihovog učinka i povezanosti s prometnim nesrećama, posebno u uvjetima smanjene vidljivosti. S obzirom na navedeno, u ovom radu se detaljnije analizira kvaliteta prometnih znakova s ciljem utvrđivanja odnosa između broja prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti i prometnih znakova koji ne zadovoljavaju minimalni koeficijent retrorefleksije.

7. ODREĐIVANJE KORELACIJE IZMEĐU PROMETNIH ZNAKOVA I SIGURNOSTI PROMETA

U svrhu ovog rada prikupljeno je i obrađeno niz podataka koji će se detaljnije objasniti u nastavku radi utvrđivanja postojećeg stanja vertikalne signalizacije na državnim cestama duž RH. Izučavana je kvaliteta vertikalne prometne signalizacije, u smislu da je istraženo u kojoj mjeri prometni znakovi zadovoljavaju, odnosno ne zadovoljavaju minimalne propisane koeficijente retrorefleksije. Uz kvalitetu znakova, analizirani su i podaci o prometnim nesrećama koje su se dogodile tijekom 2014. godine na 130 državnih cesta. Kako kvaliteta prometnih znakova, s aspekta retrorefleksije, dolazi do najvećeg izražaja u uvjetima smanjene vidljivosti (noć, sumrak, svitanje), analizirane su samo prometne nesreće koje su se dogodile upravo u tim uvjetima. Kao što je već ranije navedeno, cilj rada je odrediti u kojoj mjeri su pojedini parametri (broj i ispravnost prometnih znakova, PGDP, duljina ceste, prosječno ograničenje brzine) povezani s pojavom prometnih nesreća, preciznije, odrediti korelaciju između prometnih znakova koji ne zadovoljavaju propisanu razinu retrorefleksije i prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti.

7.1. Podaci o prometnim znakovima i cestama

Podaci korišteni za potrebe ovog rada prikupljeni su od strane Zavoda za prometnu signalizaciju na Fakultetu prometnih znanosti u Zagrebu, Sveučilišta u Zagrebu u sklopu projekta „Kontrolna ispitivanja retrorefleksije horizontalne i vertikalne prometne signalizacije na državnim cestama s prikupljanjem podataka za ažuriranje Baze cestovnih podataka“. Prilikom terenskog prikupljanja podataka o znakovima za potrebe izrade baze podataka prometnih znakova na državnim cestama, uzeti su podaci o tehničkim karakteristikama znakova, kao što su dimenzije znaka, kod znaka, stacionaža, način postave, godina proizvodnje i proizvođač te klasa retroreflektirajućeg materijala od kojega je znak izrađen. Osim toga, pomoću ručnog retroreflektometra Zehntner ZRS 6060 izmjeren je koeficijent retrorefleksije svake boje zastupljene na znaku sukladno metodologiji propisanoj u [18]. Prikupljeni podaci o znakovima uvezeni su u bazu podataka programskog alata „Retrorefleksija“, razvijenog od strane Zavoda za prometnu signalizaciju pomoću kojeg je izvršena obrada podataka te je dobiven

uvid u stanje kvalitete prometnih znakova na analiziranim cestama. Korisničko sučelje navedenog programskog alata prikazano je na Slici 14.

RETROREFLEKSIJA Aplikacija za pregled ispitivanja retrorefleksije prometne signalizacije

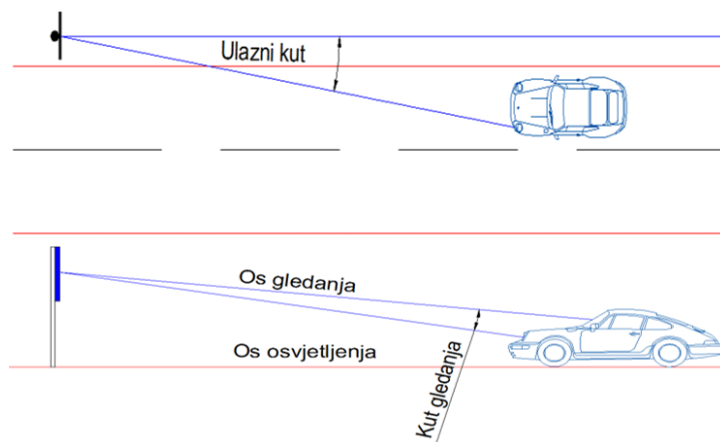
Prometni znakovi > Hrvatske ceste d.o.o. > Krapinsko-zagorska županija > DC1 GP Macelj - Zeinci (g.ž.) 12.05.2014. Marija Ferko Ojjava

| Rb | Šifra | Simbol | Stacionaža | Položaj | Smjer | Zadovoljava | Ispravan | Napomena |
|----|-------|--------|------------|---------|-------|-------------|----------|----------|
| 47 | C42 | | 1/1,104 | Desno | SMJ | ✗ | ✗ | |
| 48 | B32 | | 2/1,120 | Desno | SMJ | ✗ | ✗ | |
| 49 | A36 | | 2/1,146 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 50 | B31 | | 2/1,146 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 51 | C64 | | 2/1,182 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 52 | B23 | | 2/1,286 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 53 | C76 | | 2/1,286 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 54 | B32 | | 2/1,702 | Desno | SMJ | ✗ | ✗ | |
| 55 | K14 | | 2/1,752 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 56 | K14 | | 2/1,772 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 57 | K14 | | 2/1,780 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 58 | K14 | | 2/1,790 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 59 | K14 | | 2/1,800 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 60 | K14 | | 2/1,809 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 61 | K14 | | 2/1,820 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |
| 62 | K14 | | 2/1,829 | Desno | SMJ | ✓ | ✓ | |

Slika 14. Izgled sučelja programskog alata "Retrorefleksija"

Izvor: [4]

Minimalni koeficijenti retrorefleksije razlikuju se za svaku klasu retroreflektirajućeg materijala te također za pojedinu boju. Minimalne vrijednosti koeficijenata retrorefleksije prikazane su u Tablici 2 za klasu I materijala, u Tablici 3 za klasu II materijala te u Tablici 4 za klasu III materijala. Prilikom mjerenja koeficijenata retrorefleksije znakova sukladno [18], kut gledanja (α) iznosio je $0,33^\circ$, a ulazni kut (β) 5° , sukladno geometriji mjerenja spomenutog retroreflektometra (Slika 15). Ulazni kut formira se između ulaznog traka svjetlosti i okomite osi usmjerene na ravninu na koju je položen znak. Kut gledanja je kut između ulazne i reflektirane zrake svjetlosti [5].



Slika 15. Prikaz ulaznog kuta i kuta gledanja

Izvor: [5]

Tablica 2. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase I jedinice $cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$

| Geometrija mjerenja | | Boja | | | | | | | |
|--------------------------|---|--------|------|--------|--------|-------|-------|------------|------|
| Kut gledanja α | Ulazni kut β_1 ($\beta_2=0$) | bijela | žuta | crvena | zelena | plava | smeđa | narančasta | siva |
| 0,2° | +5° | 70 | 50 | 14,5 | 9 | 4 | 1 | 25 | 42 |
| | +30° | 30 | 22 | 6 | 3,5 | 1,7 | 0,3 | 10 | 18 |
| | +40° | 10 | 7 | 2 | 1,5 | 0,5 | # | 2,2 | 6 |
| 0,33° | +5° | 50 | 35 | 10 | 7 | 2 | 0,6 | 20 | 30 |
| | +30° | 24 | 16 | 4 | 3 | 1 | 0,2 | 8 | 14,4 |
| | +40° | 9 | 6 | 1,8 | 1,2 | # | # | 2,2 | 5,4 |
| 2° | +5° | 5 | 3 | 1 | 0,5 | # | # | 1,2 | 3 |
| | +30° | 2,5 | 1,5 | 0,5 | 0,3 | # | # | 0,5 | 1,5 |
| | +40° | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | # | # | # | 0,9 |

Izvor: [18]

Tablica 3. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase II jedinice $cd \cdot x^{-1} \cdot m^{-2}$

| Geometrija mjerenja | | Boja | | | | | | | | |
|--------------------------|--|--------|------|--------|--------|--------------|-------|-------|------------|------|
| Kut gledanja α | Ulazni kut β_1 ($\beta_2=0$) | bijela | žuta | crvena | zelena | tamno zelena | plava | smeđa | narančasta | siva |
| 0,2° | +5° | 250 | 170 | 45 | 45 | 20 | 20 | 12 | 100 | 125 |
| | +30° | 150 | 100 | 25 | 25 | 15 | 11 | 8,5 | 60 | 75 |
| | +40° | 110 | 70 | 15 | 12 | 6 | 8 | 5,0 | 29 | 55 |
| 0,33° | +5° | 180 | 120 | 25 | 21 | 14 | 14 | 8 | 65 | 90 |
| | +30° | 100 | 70 | 14 | 12 | 11 | 8 | 5 | 40 | 50 |
| | +40° | 95 | 60 | 13 | 11 | 5 | 7 | 3 | 20 | 47 |
| 2° | +5° | 5 | 3 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 1,5 | 2,5 |
| | +30° | 2,5 | 1,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | # | # | 1 | 1,2 |
| | +40° | 1,5 | 1,0 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | # | # | # | 0,7 |

Izvor: [18]

Tablica 4. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase III jedinice $cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$

| Geometrija mjerenja | | Boja | | | | | |
|-----------------------|---|--------|------|--------|--------|-------|------------|
| Kut gledanja α | Ulazni kut β_1 ($\beta_2=0$) | bijela | žuta | crvena | zelena | plava | narančasta |
| 0,1° | +5° | 850 | 550 | 170 | 85 | 55 | 260 |
| | +20° | 600 | 390 | 120 | 60 | 40 | 130 |
| | +30° | 425 | 275 | 85 | 40 | 28 | 95 |
| 0,2° | +5° | 625 | 400 | 125 | 60 | 40 | 140 |
| | +20° | 450 | 290 | 90 | 45 | 30 | 100 |
| | +30° | 325 | 210 | 65 | 30 | 20 | 70 |
| 0,33° | +5° | 425 | 275 | 85 | 40 | 28 | 95 |
| | +20° | 300 | 195 | 60 | 30 | 20 | 65 |
| | +30° | 225 | 145 | 45 | 20 | 15 | 49 |

Izvor: [19]

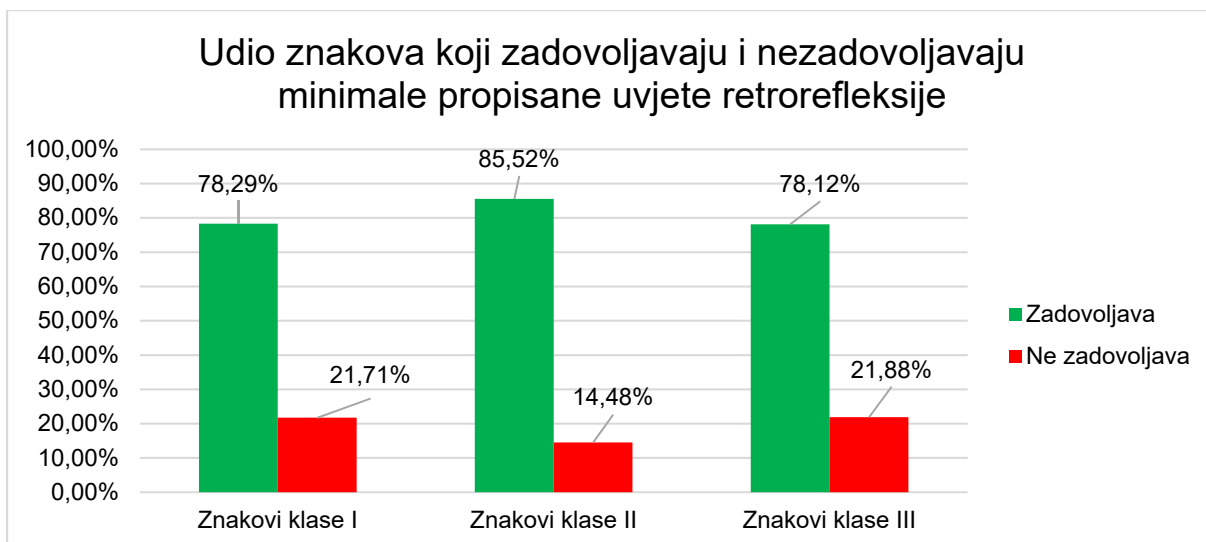
U početnoj analizi, za potrebe ovog rada, u obzir su uzeti znakovi svih klasa materijala s ukupno 130 državnih cesta u Republici Hrvatskoj, odnosno sa 6.468,5 km prometnica. Ukupan broj promatranih znakova, kao i njihova podjela po klasama te broj znakova koji zadovoljavaju, odnosno ne zadovoljavaju minimalne propisane

vrijednosti koeficijenta retrorefleksije prikazan je u Tablici 5 i na Grafikonu 2. Na navedenim cestama analizirano je ukupno 139.773 prometnih znakova, od čega je 111.995 znakova zadovoljilo minimalne propisane vrijednosti retrorefleksije, što čini udio od 80,13%. Znakova klase I bilo je 91.047 (od čega zadovoljava 71.278 ili 78,29%), znakova klase II 38.315 (od čega zadovoljava 32.768 tj. 85,52% znakova), dok je znakova klase III bilo 10.111 (od čega zadovoljava 7.899 znakova, odnosno samo 78,12%) [4]. Budući da je klasa I minimalna propisana klasa retroreflektirajućeg materijala za izradu prometnih znakova, očekivano je najveći broj znakova izrađen upravo tom vrstom materijala. Samo je za neke znakove propisana viša klasa materijala (npr. znak za obavezno zaustavljanje, znak obilježavanja pješačkog i biciklističkog prijelaza, ploče za obilježavanje zapreka ili oštih zavoja na cesti i sl.) te je zbog toga broj ovih znakova manji. Daleko je najmanje znakova klase III, budući da je ta klasa propisana samo za četiri znaka [6].

Tablica 5. Ukupan broj znakova po klasama

| | | |
|----------------------------|----------------|--------|
| Ukupan broj znakova | 139.773 | |
| Zadovoljava | 111.995 | 80,13% |
| Ne zadovoljava | 27.778 | 19,87% |
| Znakovi klase I | 91.047 | |
| Zadovoljava | 71.278 | 78,29% |
| Ne zadovoljava | 19.769 | 21,71% |
| Znakovi klase II | 38.315 | |
| Zadovoljava | 32.768 | 85,52% |
| Ne zadovoljava | 5.547 | 14,48% |
| Znakovi klase III | 10.111 | |
| Zadovoljava | 7.899 | 78,12% |
| Ne zadovoljava | 2.212 | 21,88% |

Izvor: izradili autori prema [4]



Grafikon 2. Udio znakova prema klasama koji zadovoljavaju i ne zadovoljavaju minimalne uvjete retrorefleksije

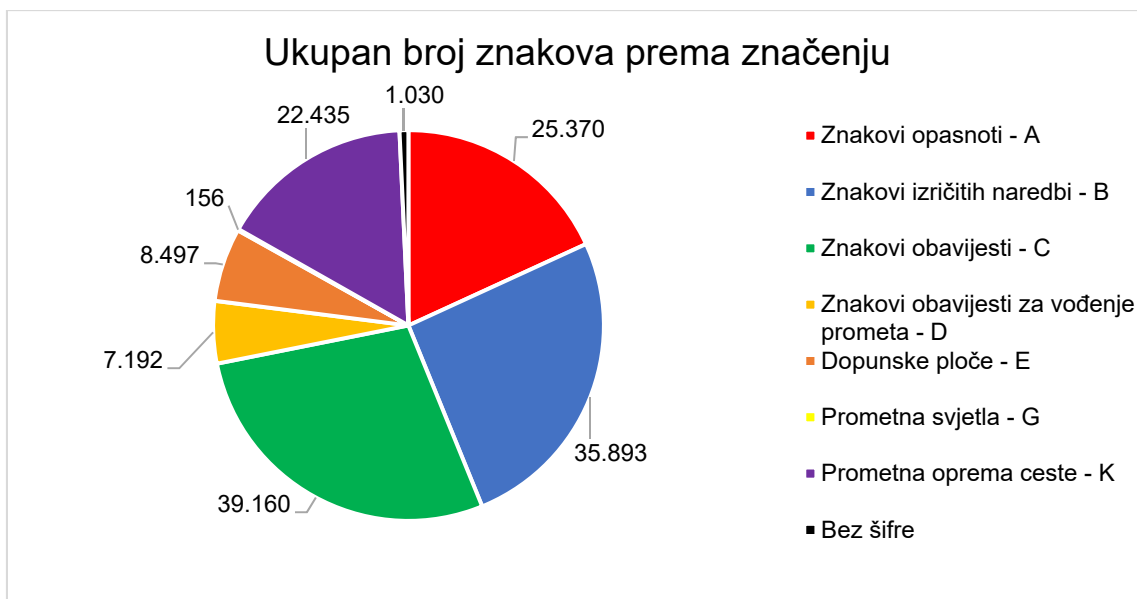
Izvor: izradili autori prema [4]

Broj znakova razvrstanih prema značenju prikazan je u Tablici 6 i na Grafikonu 3 iz kojih je vidljivo kako je najviše znakova obavijesti. Ukoliko se promatraju znakovi kojima se može opisati rizičnost ceste (znakovi opasnosti – A, izričitih naredbi – B, prometna oprema – K), njih je ukupno 83.698. Ovi su znakovi značajni za opis karakteristika ceste, budući da upozoravaju vozače na neke specifične situacije ispred njih koje mogu utjecati na sigurnost odvijanja prometnog toka (npr. približavanje pješачkom prijelazu, opasnost od divljači na cesti, ograničenje brzine, zabrana pretjecanja, obilježavanje prepreka na cesti i sl.).

Tablica 6. Broj znakova prema značenju

| Vrsta znaka prema značenju | Ukupan broj znakova |
|---|---------------------|
| Znakovi opasnosti - A | 25.370 |
| Znakovi izričitih naredbi - B | 35.893 |
| Znakovi obavijesti - C | 39.160 |
| Znakovi obavijesti za vođenje prometa - D | 7.192 |
| Dopunske ploče - E | 8.497 |
| Prometna svjetla - G | 156 |
| Prometna oprema ceste - K | 22.435 |
| Bez šifre | 1.030 |
| UKUPNO: | 139.733 |

Izvor: izradili autori prema [4]



Grafikon 3. Prikaz ukupnog broja znakova prema značenju

Izvor: izradili autori prema [4]

Prema podacima iz [20], prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) je prikupljen na 81 državnoj cesti (5.653,3 km) od ukupno 130 analiziranih cesta (6.468,5 km) te je izračunat prosjek PGDP-a za svaku cestu, što je prikazano u Tablici 7. Osim toga, u tablici su prikazani podaci o duljini pojedine ceste, prosječno ograničenje brzine na cesti te broj znakova koji ne zadovoljavaju koeficijent retrorefleksije po kilometru svake ceste.

Tablica 7. Osnovni podaci o analiziranim državnim cestama

| DC | Prosječno ograničenje brzine (km/h) | Duljina ceste (km) | Br. znakova koji ne zadovoljava /km | PGDP | DC | Prosječno ograničenje brzine (km/h) | Duljina ceste (km) | Br. znakova koji ne zadovoljava /km | PGDP |
|-------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|
| DC1 | 63 | 420,8 | 3,4 | 6.169 | DC112 | 50 | 1,9 | 12,9 | |
| DC2 | 72 | 347,6 | 6,0 | 4.730 | DC113 | 69 | 39,3 | 4,2 | 2.206 |
| DC3 | 70 | 217,8 | 5,5 | 5.888 | DC116 | 49 | 76,6 | 5,0 | 1.333 |
| DC5 | 62 | 124,2 | 5,3 | 2.451 | DC117 | 40 | 20,2 | 6,9 | - |
| DC6 | 56 | 134,7 | 4,9 | 1.975 | DC118 | 75 | 43,6 | 4,4 | 1.495 |
| DC7 | 71 | 115,2 | 3,3 | 3.538 | DC120 | 60 | 42,8 | 3,4 | 330 |
| DC8 | 61 | 644,6 | 4,2 | 8.533 | DC121 | 61 | 14,0 | 2,2 | - |
| DC9 | 57 | 10,9 | 2,6 | 5.108 | DC124 | 50 | 1,8 | 2,8 | - |
| DC20 | 67 | 50,4 | 6,2 | 4.764 | DC126 | 40 | 8,3 | 7,3 | - |
| DC22 | 70 | 42,8 | 6,3 | - | DC200 | 74 | 11,8 | 5,4 | 4.623 |
| DC23 | 59 | 104,3 | 3,6 | 2.682 | DC201 | 70 | 7,1 | 0,6 | - |
| DC24 | 55 | 75,4 | 6,1 | 3.990 | DC203 | 68 | 11,2 | 7,2 | 925 |
| DC25 | 60 | 83,7 | 3,3 | 2.692 | DC204 | 60 | 6,2 | 3,2 | - |
| DC26 | 86 | 89,0 | 2,7 | 1.706 | DC205 | 71 | 24,5 | 4,3 | - |
| DC27 | 66 | 97,0 | 2,5 | 1.682 | DC206 | 50 | 28,8 | 3,8 | - |
| DC28 | 93 | 70,8 | 4,5 | 6.643 | DC207 | 48 | 14,5 | 10,2 | 2.326 |
| DC29 | 51 | 49,8 | 2,3 | 2.763 | DC208 | 68 | 6,9 | 12,2 | 959 |
| DC30 | 75 | 81,3 | 3,6 | 6.743 | DC209 | 60 | 17,3 | 8,2 | 7.618 |
| DC31 | 50 | 56,9 | 2,6 | - | DC210 | 65 | 24,3 | 3,5 | - |
| DC32 | 58 | 49,7 | 2,0 | 695 | DC212 | 74 | 22,1 | 1,7 | 1.724 |
| DC33 | 64 | 72,3 | 4,1 | 3.187 | DC213 | 67 | 26,6 | 2,5 | 3.846 |
| DC34 | 71 | 79,5 | 5,3 | 3.641 | DC214 | 78 | 28,9 | 2,5 | 1.766 |
| DC35 | 68 | 46,0 | 5,1 | 3.788 | DC216 | 54 | 25,0 | 1,8 | 1.852 |
| DC36 | 69 | 110,5 | 4,3 | 2.502 | DC217 | 58 | 3,0 | 1,0 | 1.738 |
| DC37 | 55 | 33,3 | 6,8 | 3.806 | DC218 | 56 | 57,3 | 2,1 | - |
| DC38 | 57 | 120,3 | 5,3 | 2.968 | DC219 | 90 | 31,7 | 4,9 | - |
| DC39 | 50 | 37,4 | 8,2 | 1.850 | DC220 | 78 | 28,9 | 3,8 | 2.417 |
| DC40 | 58 | 3,1 | 5,7 | - | DC223 | 67 | 4,7 | 4,5 | - |
| DC41 | 56 | 57,9 | 8,4 | 3.726 | DC227 | 52 | 19,4 | 8,3 | 5.213 |
| DC42 | 57 | 90,3 | 2,9 | - | DC300 | 66 | 8,4 | 5,2 | - |
| DC43 | 80 | 78,3 | 5,1 | 3.505 | DC301 | 60 | 5,7 | 1,6 | - |
| DC44 | 61 | 50,7 | 1,5 | 3.422 | DC302 | 65 | 10,0 | 5,3 | - |
| DC45 | 61 | 43,7 | 5,8 | 2.003 | DC303 | 64 | 13,6 | 4,9 | - |
| DC46 | 68 | 72,9 | 4,8 | 2.571 | DC306 | 61 | 27,5 | 5,0 | 9.533 |
| DC47 | 68 | 94,5 | 3,6 | 1.785 | DC307 | 50 | 23,8 | 1,8 | 4.837 |
| DC48 | 76 | 20,8 | 7,0 | - | DC315 | 36 | 2,7 | 3,3 | - |
| DC49 | 60 | 19,6 | 1,5 | - | DC400 | 40 | 1,5 | 11,8 | - |
| DC50 | 63 | 104,8 | 1,9 | 1.724 | DC401 | 60 | 1,5 | 2,0 | - |
| DC51 | 64 | 50,3 | 3,7 | 3.309 | DC404 | 59 | 3,9 | 2,3 | - |
| DC52 | 62 | 41,1 | 1,8 | 1.076 | DC405 | 55 | 3,9 | 6,8 | - |
| DC53 | 55 | 91,7 | 4,5 | 3.652 | DC406 | 40 | 2,9 | 0,0 | - |
| DC54 | 73 | 13,5 | 2,6 | - | DC409 | 44 | 6,3 | 8,1 | - |
| DC55 | 70 | 48,8 | 5,0 | 6.154 | DC410 | 50 | 4,0 | 30,9 | - |
| DC56 | 56 | 119,5 | 4,1 | 1.288 | DC414 | 65 | 64,7 | 3,9 | 2.122 |
| DC57 | 70 | 35,9 | 0,9 | - | DC415 | 60 | 7,2 | 4,5 | 771 |
| DC58 | 60 | 43,1 | 3,7 | 2.862 | DC417 | 90 | 2,3 | 6,9 | - |
| DC59 | 81 | 54,1 | 4,6 | 1.710 | DC420 | 50 | 2,8 | 10,3 | - |
| DC60 | 57 | 66,0 | 7,2 | 3.775 | DC423 | 50 | 6,2 | 1,8 | 8.849 |
| DC62 | 66 | 89,7 | 4,6 | 3.251 | DC424 | 77 | 17,7 | 0,4 | 6.430 |
| DC64 | 51 | 27,0 | 4,8 | 2.389 | DC500 | 85 | 23,6 | 4,3 | 1.820 |
| DC66 | 54 | 90,4 | 3,8 | 8.303 | DC501 | 61 | 20,3 | 5,1 | 1.996 |
| DC69 | 68 | 53,2 | 1,8 | 956 | DC502 | 57 | 16,5 | 3,5 | - |
| DC70 | 49 | 21,7 | 5,5 | 3.997 | DC503 | 62 | 16,3 | 3,4 | - |
| DC72 | 47 | 2,8 | 16,0 | 9.059 | DC507 | 65 | 15,6 | 3,1 | 4.657 |
| DC75 | 75 | 101,6 | 3,4 | 4.273 | DC510 | 30 | 3,0 | 8,0 | - |
| DC100 | 54 | 80,3 | 5,7 | 2.354 | DC512 | 70 | 30,5 | 2,0 | - |
| DC101 | 48 | 10,9 | 2,0 | - | DC514 | 50 | 2,9 | 6,6 | - |
| DC102 | 63 | 48,5 | 2,7 | 6.586 | DC515 | 57 | 32,6 | 1,5 | 1.354 |
| DC103 | 90 | 1,7 | 12,6 | - | DC516 | 77 | 14,4 | 2,6 | - |
| DC104 | 72 | 10,1 | 2,8 | - | DC517 | 70 | 27,4 | 4,4 | 1.041 |
| DC105 | 49 | 22,7 | 1,9 | 1.548 | DC518 | 61 | 33,9 | 4,1 | 4.722 |
| DC106 | 69 | 74,2 | 3,8 | 1.835 | DC519 | 74 | 16,2 | 3,6 | - |
| DC109 | 70 | 42,0 | 2,2 | - | DC520 | 40 | 7,9 | 6,4 | - |
| DC110 | 51 | 41,5 | 3,4 | - | DC522 | 68 | 13,4 | 1,7 | 1.779 |
| DC111 | 50 | 17,8 | 8,8 | - | DC525 | 54 | 25,6 | 6,3 | 5.311 |

Izvor: izradili autori prema [4], [20]

Podaci o prometnim nesrećama te sudionicima u nesrećama za 2014. godinu dobiveni su od strane Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske (MUP). Podaci koji će se koristiti u ovom radu su broj prometnih nesreća, posljedice prometnih nesreća (nesreće s materijalnom štetom, nesreće s ozlijeđenim osobama, nesreće s poginulima) i uvjeti vidljivosti (dan, noć, sumrak, svitanje) u trenutku nastanka prometnih nesreća. Kao glavni pokazatelj korelacije uzet će se podaci o broju nesreća s poginulim i ozlijeđenim osobama u uvjetima smanjene vidljivosti.

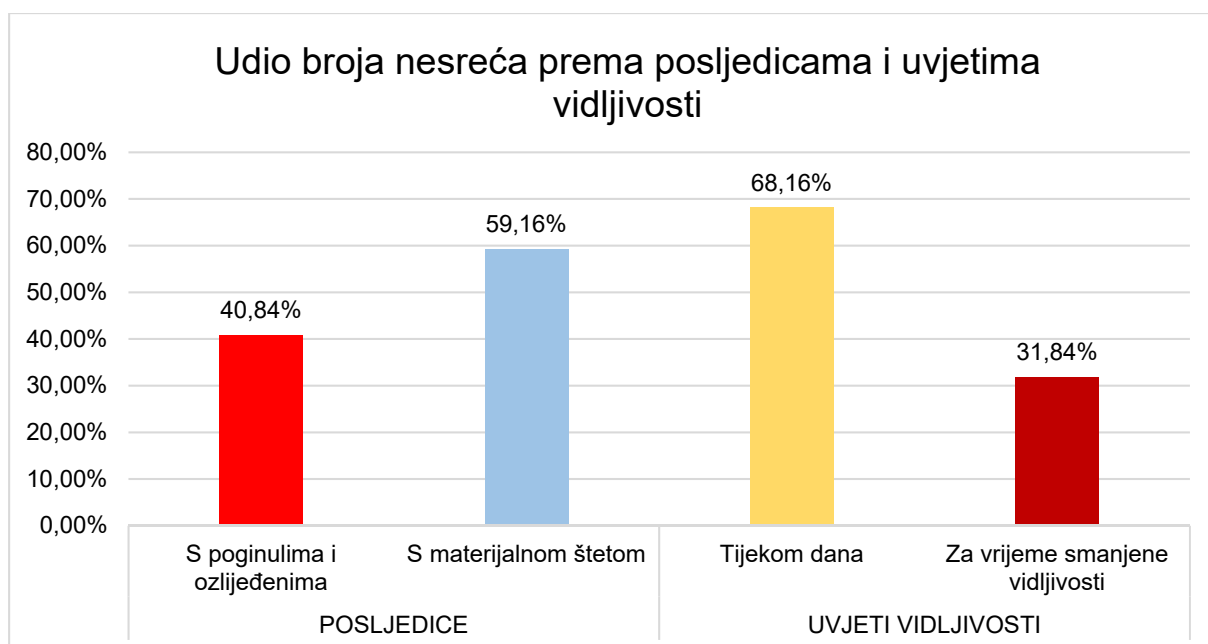
Ukupan broj prometnih nesreća u 2014. godini na analiziranim cestama iznosi 4.246, od kojih je 1.734 nesreća bilo s poginulim i ozlijeđenim osobama, što čini čak 40,84% od promatranog broja prometnih nesreća. Tijekom dana zabilježeno je 2.894 prometnih nesreća što čini 68,16% od promatranog broja prometnih nesreća, što znači da se u uvjetima smanjene vidljivosti dogodilo čak 31,84% nesreća. U ovom radu za određivanje korelacije uzimaju se u obzir prometne nesreće u uvjetima smanjenje vidljivosti (noć, sumrak i svitanje), odnosno u uvjetima kada retrorefleksija znaka najviše dolazi do izražaja te nesreće s težim posljedicama, odnosno u kojima je bilo poginulih ili ozlijeđenih osoba. Broj prometnih nesreća na promatranim cestama prikazan je u Tablici 8, pomoću koje se može zaključiti kako je udio nesreća s ozlijeđenim i poginulim osobama za vrijeme smanjene vidljivosti (noć, svitanje, sumrak) veći od 36%, što je zaista alarmantan podatak.

Tablica 8. Pregled broja nesreća (2014. g.)

| | | |
|---|-------|--------|
| Ukupan broj nesreća | 4.246 | |
| S poginulima i ozlijeđenima | 1.734 | 40,84% |
| S materijalnom štetom | 2.512 | 59,16% |
| Tijekom dana | 2.894 | 68,16% |
| Za vrijeme smanjene vidljivosti | 1.352 | 31,84% |
| Broj nesreća za vrijeme smanjene vidljivosti | 1.352 | |
| S materijalnom štetom | 855 | 63,24% |
| S ozlijeđenima | 465 | 34,39% |
| S poginulima | 33 | 2,44% |

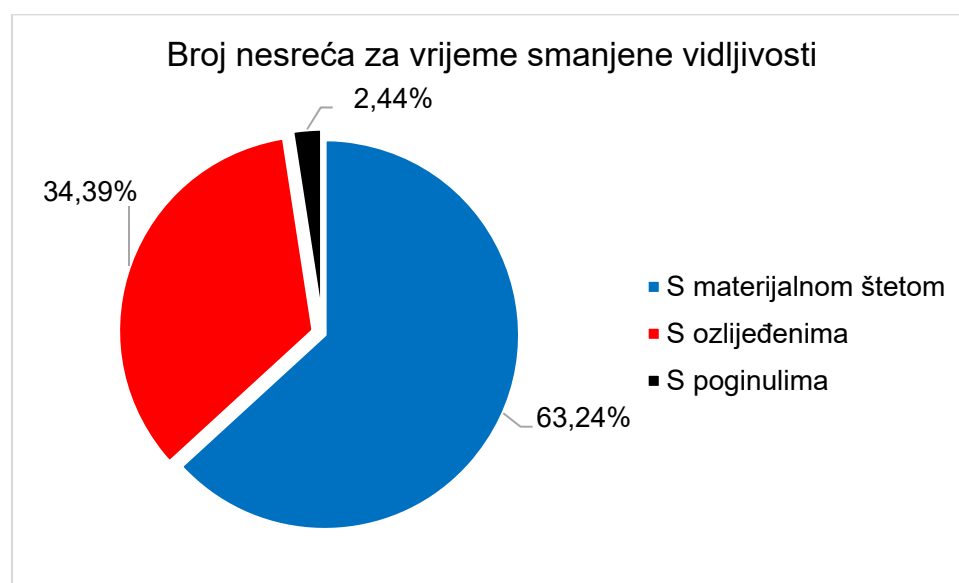
Izvor: [21]

Grafikon 4 prikazuje postotne udjele ukupnog broja nesreća razvrstanih prema posljedicama, odnosno prema tome u kojim su se uvjetima vidljivosti dogodile. Pomoću Grafikona 5 lako se može uočiti raspodjela prometnih nesreća za vrijeme smanjene vidljivosti prema posljedicama prema kojem se vidi da nesreće sa smrtno stradalim i ozlijeđenim osobama čine više od trećine od ukupnog broja nesreća.



Grafikon 4. Udio broja nesreća prema posljedicama i uvjetima vidljivosti (2014. g.)

Izvor: izradili autori prema [4]



Grafikon 5. Udio nesreća prema posljedicama za vrijeme smanjene vidljivosti (2014. g.)

Izvor: izradili autori prema [4]

Tablica 9 prikazuje broj nesreća po pojedinoj državnoj cesti, ukupno te zasebno za vrijeme dana i u uvjetima smanjene vidljivosti. Također, za prometne nesreće koje su se dogodile u uvjetima smanjene vidljivosti naveden je broj nesreća ovisno o posljedicama.

Tablica 9. Pregled broja prometnih nesreća u različitim uvjetima (2014. g.)

| Državna cesta | Ukupno nesreća | Dan | Nesreće u uvjetima smanjene vidljivosti | | | | Državna cesta | Ukupno nesreća | Dan | Nesreće u uvjetima smanjene vidljivosti | | | |
|------------------|-------------------|-----|---|------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|-----|---|------------|------------|-----------------|
| | | | Uk. | Posljedica | | | | | | Uk. | Posljedica | | |
| | | | | Poginuli | Ozlijeđeni | Mater. šteta | | | | | Poginuli | Ozlijeđeni | Mater. šteta |
| DC1 | 429 | 283 | 146 | 4 | 38 | 104 | DC112 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC2 | 145 | 92 | 53 | 2 | 18 | 33 | DC113 | 16 | 9 | 7 | 0 | 7 | 0 |
| DC3 | 241 | 146 | 95 | 0 | 21 | 74 | DC116 | 41 | 32 | 9 | 0 | 5 | 4 |
| DC5 | 36 | 23 | 13 | 1 | 6 | 6 | DC117 | 7 | 4 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| DC6 | 48 | 31 | 17 | 0 | 6 | 11 | DC118 | 6 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| DC7 | 114 | 76 | 38 | 0 | 18 | 20 | DC120 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC8 | 997 | 708 | 289 | 11 | 103 | 175 | DC121 | 16 | 12 | 4 | 0 | 1 | 3 |
| DC9 | 18 | 11 | 7 | 0 | 3 | 4 | DC124 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| DC20 | 45 | 31 | 14 | 0 | 8 | 6 | DC126 | 8 | 6 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| DC22 | 12 | 10 | 2 | 0 | 0 | 2 | DC200 | 8 | 6 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| DC23 | 55 | 39 | 16 | 0 | 4 | 12 | DC201 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC24 | 50 | 32 | 19 | 1 | 4 | 14 | DC203 | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| DC25 | 28 | 24 | 4 | 0 | 1 | 3 | DC204 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC26 | 5 | 2 | 3 | 0 | 2 | 1 | DC205 | 8 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| DC27 | 36 | 21 | 15 | 0 | 2 | 13 | DC206 | 22 | 15 | 7 | 0 | 1 | 6 |
| DC28 | 35 | 20 | 15 | 0 | 2 | 13 | DC207 | 10 | 7 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| DC29 | 27 | 20 | 7 | 1 | 2 | 4 | DC208 | 8 | 5 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| DC30 | 28 | 21 | 7 | 0 | 3 | 4 | DC209 | 46 | 36 | 10 | 1 | 1 | 8 |
| DC31 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | DC210 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| DC32 | 8 | 5 | 3 | 0 | 1 | 2 | DC212 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC33 | 46 | 33 | 13 | 0 | 2 | 11 | DC213 | 17 | 12 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| DC34 | 69 | 44 | 25 | 0 | 11 | 14 | DC214 | 12 | 9 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| DC35 | 14 | 7 | 7 | 0 | 3 | 4 | DC216 | 8 | 5 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| DC36 | 12 | 10 | 2 | 0 | 1 | 1 | DC217 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| DC37 | 8 | 4 | 4 | 0 | 3 | 1 | DC218 | 9 | 7 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| DC38 | 45 | 29 | 16 | 0 | 6 | 10 | DC219 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC39 | 11 | 6 | 5 | 1 | 2 | 2 | DC220 | 10 | 6 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| DC40 | 9 | 5 | 4 | 1 | 0 | 3 | DC223 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC41 | 64 | 41 | 23 | 0 | 7 | 16 | DC227 | 14 | 6 | 8 | 0 | 2 | 6 |
| DC42 | 17 | 12 | 5 | 0 | 1 | 4 | DC300 | 12 | 8 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| DC43 | 11 | 5 | 6 | 0 | 5 | 1 | DC301 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC44 | 15 | 8 | 7 | 0 | 6 | 1 | DC302 | 12 | 9 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| DC45 | 15 | 9 | 6 | 1 | 2 | 3 | DC303 | 19 | 12 | 7 | 1 | 4 | 2 |
| DC46 | 50 | 27 | 23 | 0 | 8 | 15 | DC306 | 22 | 19 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| DC47 | 9 | 6 | 3 | 0 | 2 | 1 | DC307 | 16 | 12 | 4 | 1 | 0 | 3 |
| DC48 | 14 | 9 | 5 | 0 | 2 | 3 | DC315 | 15 | 11 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| DC49 | 8 | 4 | 4 | 0 | 3 | 1 | DC400 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC50 | 31 | 21 | 10 | 0 | 2 | 8 | DC401 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC51 | 45 | 36 | 9 | 0 | 4 | 5 | DC404 | 13 | 9 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| DC52 | 12 | 7 | 5 | 0 | 1 | 4 | DC405 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC53 | 54 | 36 | 18 | 0 | 7 | 11 | DC406 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC54 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | DC409 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC55 | 38 | 28 | 10 | 0 | 5 | 5 | DC410 | 87 | 64 | 23 | 0 | 11 | 12 |
| DC56 | 37 | 20 | 17 | 0 | 6 | 11 | DC414 | 30 | 21 | 9 | 0 | 8 | 1 |
| DC57 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | DC415 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC58 | 45 | 31 | 14 | 0 | 6 | 8 | DC417 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC59 | 20 | 16 | 4 | 0 | 2 | 2 | DC420 | 8 | 4 | 4 | 0 | 2 | 2 |
| DC60 | 50 | 33 | 17 | 0 | 7 | 10 | DC423 | 38 | 3 | 5 | 0 | 2 | 3 |
| DC62 | 13 | 10 | 3 | 0 | 1 | 2 | DC424 | 16 | 9 | 7 | 0 | 4 | 3 |
| DC64 | 9 | 7 | 2 | 0 | 1 | 1 | DC500 | 6 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC66 | 68 | 54 | 14 | 1 | 2 | 11 | DC501 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC69 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | DC502 | 7 | 3 | 4 | 0 | 1 | 3 |
| DC70 | 13 | 10 | 3 | 0 | 1 | 2 | DC503 | 12 | 9 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| DC72 | 36 | 27 | 9 | 0 | 4 | 5 | DC507 | 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| DC75 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | DC510 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DC100 | 37 | 26 | 11 | 1 | 5 | 5 | DC512 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC101 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | DC514 | 12 | 8 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| DC102 | 90 | 60 | 30 | 1 | 7 | 22 | DC515 | 19 | 14 | 5 | 0 | 3 | 2 |
| DC103 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | DC516 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| DC104 | 11 | 5 | 6 | 0 | 1 | 5 | DC517 | 11 | 5 | 6 | 0 | 1 | 5 |
| DC105 | 7 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | DC518 | 14 | 8 | 6 | 0 | 3 | 3 |
| DC106 | 69 | 48 | 21 | 0 | 7 | 14 | DC519 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| DC109 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | DC520 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| DC110 | 15 | 11 | 4 | 1 | 3 | 0 | DC522 | 4 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| DC111 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | DC525 | 30 | 21 | 9 | 0 | 5 | 4 |

Izvor: [21]

7.1. Određivanje utjecaja kvalitete prometnih znakova na učestalost nastanka prometnih nesreća

Glavni cilj ovog rada je statističkom analizom utvrditi koja je povezanost između obilježja cesta i nastanka prometnih nesreća te u kojoj mjeri na to utječe kvaliteta prometnih znakova. Kvaliteta prometnih znakova u ovom je slučaju izražena kroz zadovoljavanje, odnosno nezadovoljavanje propisanog minimalnog koeficijenta retrorefleksije. Kao informacija o stanju sigurnosti državnih cesta korišteni su podaci o broju nesreća koje su se dogodile na pojedinoj od ukupno 130 analiziranih državnih cesta tijekom 2014. godine.

Korelacijskom analizom analizira se odnos zavisne varijable (kriterija) i nezavisne varijable (prediktora), tj. utjecaj nezavisnih varijabli na zavisnu. Po smjeru korelacija može biti pozitivna i negativna. Pozitivna korelacija je prisutna kada rast jedne varijable prati rast druge promatrane varijable, odnosno kada pad jedne prati pad druge varijable. Negativna korelacija prisutna je kada rast jedne varijable prati pad druge varijable i obratno [22]. U analizi je korišten Pearsonov koeficijent korelacije (jedna od varijabli ima normalnu raspodjelu te se podaci uzimaju za veći uzorak, tj. $N > 35$). Koeficijent korelacije tumači se tako da što je on veći, veća je povezanost između varijabli (pozitivna ili negativna). U nastavku će se koristiti oznaka r za koeficijent korelacije te oznaka p za statističku značajnost koeficijenta korelacije. Statistička značajnost koeficijenta korelacije znači se da razina p uspoređuje s razinom značajnosti od 0,05, odnosno ukoliko je vrijednost p manja od 0,05 za promatrani koeficijent korelacije, znači da je on značajan i da se smije tumačiti. Oznaka N odnosi se na veličinu uzorka.

Prvo je utvrđeno da je *ukupan broj nesreća*, kao i *ukupan broj poginulih i ozlijeđenih* najviše povezan s *duljinom ceste*, i to vrlo visoko ($r=0,884$ za ukupan broj nesreća odnosno $r=0,866$ za nesreće s poginulima i ozlijeđenima) te u manjoj mjeri s *prosječnim godišnjim dnevnim prometom vozila* ($r=0,378$) dok nije povezan s *prosječnim ograničenjem brzine na cesti*. Navedeno je logično, s obzirom da se na duljim cestama događa i veći broj nesreća iz razloga jer dulja cesta omogućuje više "prilika" za prometnu nesreću. Također, jasno je da će na cestama s većim prometnim opterećenjem biti i veći broj nesreća, ali zanimljivo je da je PGDP vozila daleko slabije povezan s brojem nesreća od duljine ceste (Tablica 10).

Kako bi se kontrolirao faktor duljine ceste, za svaku cestu izračunat je *broj nesreća po kilometru* te je ustanovljeno da se pojedine ceste međusobno razlikuju po broju

nesreća koje se događaju po kilometru ceste, te također da ukupan broj nesreća nije povezan s *brojem nesreća po kilometru*. Drugim riječima, ceste koje imaju ukupno više nesreća (dulje ceste) nisu ujedno i „opasnije“ u relativnom smislu, odnosno na njima se ne događa veći broj nesreća po kilometru.

Kao glavni pokazatelj (kriterij) sigurnosti, odnosno nesigurnosti ceste, korišten je *broj poginulih i ozlijeđenih u nesrećama koje su se dogodile u uvjetima smanjene vidljivosti* (odnosno noću, u sumrak i u svitanje) *po kilometru*. Ovaj je pokazatelj odabran budući da se u uvjetima smanjene vidljivosti najviše ističe kvaliteta prometne signalizacije te se time može odrediti povezanost između kvalitete i broja prometnih nesreća, a i ostale karakteristike ceste mogu znatno doći do izražaja.

Valja napomenuti da su *broj poginulih i ozlijeđenih po kilometru s brojem poginulih i ozlijeđenih po kilometru u uvjetima smanjene vidljivosti* iznimno visoko povezani ($r=0,928$), tako da bi gotovo sigurno korištenje jednog ili drugog pokazatelja kao kriterija opasnosti dalo slične ili identične rezultate.

Tablica 10. Korelacija između ukupnog broja poginulih i ozlijeđenih s glavnim karakteristikama ceste

| Varijable | | Ukupan broj nesreća | Br. nesreća s poginulima i ozlijeđenima | Prosječno ograničenje brzine | Duljina ceste | Prosječan godišnji dnevni promet |
|---|---|---------------------|---|------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Ukupan broj nesreća | r | 1 | 0,993** | 0,012 | 0,884** | 0,378** |
| | p | | 0,000 | 0,893 | 0,000 | 0,001 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 130 | 81 |
| Br. nesreća s poginulima i ozlijeđenima | r | 0,993** | 1 | 0,001 | 0,866** | 0,363** |
| | p | 0,000 | | 0,990 | 0,000 | 0,001 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 130 | 81 |
| Prosječno ograničenje brzine | r | 0,012 | 0,001 | 1 | 0,118 | -0,074 |
| | p | 0,893 | 0,990 | | 0,179 | 0,510 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 130 | 81 |
| Duljina ceste | r | 0,884** | 0,866** | 0,118 | 1 | 0,257* |
| | p | 0,000 | 0,000 | 0,179 | | 0,021 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 130 | 81 |
| Prosječan godišnji dnevni promet | r | 0,378** | 0,363** | -0,074 | 0,257* | 1 |
| | p | 0,001 | 0,001 | 0,510 | 0,021 | |
| | N | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Kao prediktori broja nesreća u daljnjoj analizi poslužili su pokazatelji karakteristika pojedine ceste – duljina ceste, prosječno ograničenje brzine na cesti, prosječni godišnji dnevni promet na cesti te karakteristike prometnih znakova koji se nalaze na toj cesti – udio znakova na cesti koji zadovoljava propisane minimalne kriterije vidljivosti (prema obavljenim mjerenjima koeficijenta retrorefleksije) te posebno udio znakova iz skupine A (znakovi opasnosti), skupine B (znakovi izričitih naredbi) i skupine K (prometna oprema ceste) koji zadovoljavaju minimalne kriterije vidljivosti. Znakovi i oznake iz skupina A, B i K su odabrani jer se pretpostavlja da ti znakovi najviše ukazuju na sigurnost prometnice, budući da služe upozoravanju na moguće opasnosti u prometu, za razliku od, primjerice, znakova koji prenose različite obavijesti, dopunskih ploča i sličnog. Stoga su znakovi iz A, B i K skupina izdvojeni kao zaseban prediktor kako bi se vidjelo može li stanje tih znakova na cesti bolje predvidjeti prometne nesreće od stanja znakova iz svih skupina zajedno.

Kao dodatni prediktor uzet je ukupan broj znakova koji ne udovoljavaju propisanim minimalnim kriterijima vidljivosti po kilometru ceste, koji ustvari govori koliko se učestalo na nekoj cesti pojavljuju nezadovoljavajući znakovi.

Na kraju je kao prediktor dodana i prosječna dob sudionika u nesrećama s poginulima i ozlijeđenima, uz pretpostavku da bi dob sudionika mogla biti povezana s učestalošću prometnih nesreća.

Korelacije svih korištenih prediktora s odabranim kriterijem (brojem nesreća s poginulima i ozlijeđenima u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru ceste) prikazane su u Tablici 11.

Prema Tablici 11, može se zaključiti da je *broj poginulih i ozlijeđenih u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru* statistički značajno povezan s *prosječnim ograničenjem brzine na cesti* ($r=-0,25$), *prosječnim godišnjim dnevnim prometom vozila* ($r=0,438$) te *brojem znakova koji ne zadovoljavaju po kilometru* ($r=0,483$).

Pritom je, pomalo neočekivano, *prosječno ograničenje brzine* negativno povezano s brojem poginulih i ozlijeđenih u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru, odnosno, što je *prosječno ograničenje brzine* više, to je broj poginulih u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru manji. Navedeno se može objasniti time da su ceste na kojima je brzina više ograničena vjerojatno opasnije u vidu nepreglednih ili oštih zavoja te je na njima više raskrižja, pješačkih prijelaza ili drugih objekata koji pridonose nesigurnosti ceste. Također, ceste s većim prosječnim ograničenjem brzine vjerojatno imaju povoljnije položenu trasu, s manjim brojem zavoja ili zavojima većeg radijusa te veću širinu kolnika i kvalitetniju geometriju ceste. To ne mora značiti da se preporučena

ograničenja brzine zaista i poštuju, niti se može pretpostaviti na kojim dijelovima pojedinih cesta se ograničenja brzine u praksi krše u većoj ili manjoj mjeri, ali prema analizi se zaključuje da tamo gdje su infrastrukturni i konstruktivni elementi ceste takvi da dozvoljavaju veće dopuštene brzine, ona jest donekle manje opasna po sudionike u prometu, gledano prema broju nesreća.

Druge dvije značajne korelacije su pozitivne – dakle, što je veći prosječan godišnji dnevni promet vozila na cesti te što je veći broj znakova koji ne zadovoljavaju po kilometru, to je veći broj poginulih i ozlijeđenih po kilometru u uvjetima smanjene vidljivosti.

Duljina ceste se nije pokazala povezanom s kriterijem – dakle, na duljim cestama nema u prosjeku više nesreća po kilometru, a također broj nesreća nije bio povezan ni s prosječnom dobi sudionika tih nesreća, što je i očekivao budući da se radi o prosječnoj vrijednosti starosti vozača što uključuje i najmlađe i najstarije vozače.

Tablica 11. Korelacije svih korištenih prediktora međusobno i s kriterijem - brojem poginulih i ozlijeđenih u uvjetima smanjene vidljivosti po km

| Varijable | | Nesreće s pog. i ozlij. u uvjetima sm. vid. / km | Duljina ceste | Prosječno ograničenje brzine | PGDP | Udio znakova koji zadovoljavaju | Udio znakova A, B i K koji zadovoljavaju | Broj znakova koji NE zadovoljavaju / km | Prosječna dob sudionika u nesrećama s pog. i ozlj. |
|--|---|--|---------------|------------------------------|----------------|---------------------------------|--|---|--|
| Nesreće s poginulima i ozlijeđenima u uvjetima smanjene vidljivosti / km | r | 1 | -0,095 | -0,250** | 0,438** | 0,074 | 0,086 | 0,483** | 0,049 |
| | p | . | 0,280 | 0,004 | 0,000 | 0,402 | 0,329 | 0,000 | 0,643 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| Duljina ceste | r | -0,095 | 1 | 0,118 | 0,257* | -0,035 | -0,018 | -0,088 | 0,118 |
| | p | 0,280 | . | 0,179 | 0,021 | 0,692 | 0,835 | 0,319 | 0,263 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| Prosječno ograničenje brzine | r | -0,250** | 0,118 | 1 | -0,074 | 0,014 | 0,041 | -0,200* | 0,039 |
| | p | 0,004 | 0,179 | . | 0,510 | 0,875 | 0,640 | 0,022 | 0,713 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| PGDP | r | 0,438** | 0,257* | -0,074 | 1 | 0,163 | 0,116 | 0,201 | 0,228 |
| | p | 0,000 | 0,021 | 0,510 | . | 0,146 | 0,301 | 0,072 | 0,063 |
| | N | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 67 |
| Udio znakova koji zadovoljavaju | r | 0,074 | -0,035 | 0,014 | 0,163 | 1 | 0,927** | -0,598** | 0,035 |
| | p | 0,402 | 0,692 | 0,875 | 0,146 | . | 0,000 | 0,000 | 0,737 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| Udio znakova A, B i K kategorije koji zadovoljavaju | r | 0,086 | -0,018 | 0,041 | 0,116 | 0,927** | 1 | -0,582** | -0,065 |
| | p | 0,329 | 0,835 | 0,640 | 0,301 | 0,000 | . | 0,000 | 0,541 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| Broj znakova koji NE zadovoljavaju / km | r | 0,483** | -0,088 | -0,200* | 0,201 | -0,598** | -0,582** | 1 | 0,103 |
| | p | 0,000 | 0,319 | 0,022 | 0,072 | 0,000 | 0,000 | . | 0,327 |
| | N | 130 | 130 | 130 | 81 | 130 | 130 | 130 | 92 |
| Prosječna dob sudionika u nesrećama s poginulima i ozlijeđenima | r | 0,049 | 0,118 | 0,039 | 0,228 | 0,035 | -0,065 | 0,103 | 1 |
| | p | 0,643 | 0,263 | 0,713 | 0,063 | 0,737 | 0,541 | 0,327 | . |
| | N | 92 | 92 | 92 | 67 | 92 | 92 | 92 | 92 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Zanimljivo je da se *udio znakova A, B i K skupine koji zadovoljavaju*, kao ni *udio svih znakova koji zadovoljavaju* nisu pokazali povezani s kriterijem. Ovo bi se moglo protumačiti na način da iako znakovi ovih skupina ukazuju na opasnije dijelove ceste,

zbog njihove ispravnosti, odnosno pravovremene uočljivosti, ne utječu na povećanje broja prometnih nesreća na tim dijelovima ceste.

Kako bi se ustanovilo u kojoj mjeri na temelju ovih prediktora možemo predviđati broj nesreća s poginulima i ozlijeđenima u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru, kao i koliki je samostalni doprinos svakog od prediktora u toj predikciji, provedena je višestruka regresijska analiza. Za razliku od korelacijske analize, zadaća regresijske analize je da pronađe analitičko-matematički oblik veze između jedne ovisne varijable i jedne ili više neovisnih varijabli. Osim objašnjavanja prirode ovisnosti promatranih pojava na temelju tog analitičkog oblika moguće je izvršiti predviđanje vrijednosti zavisne varijable pri određenim vrijednostima neovisnih varijabli [22]. Ovdje se radi o višestrukoj regresijskoj analizi budući da je u model uključeno više od jedne nezavisne varijable (tri prediktora). U analizu su pritom uključeni samo oni prediktora koji su se u prethodnom koraku pokazali statistički značajno povezani s kriterijem.

Koeficijent multiple korelacije R , kada se uključe tri prediktora koji su se pokazali statistički značajno bivarijatno povezani s kriterijem iznosi 0,624 i statistički je značajan na razini rizika manjoj od 1%. To znači da je tim prediktorima objašnjeno otprilike 39% varijance kriterija, odnosno $R^2=0,389$ (Tablica 12).

Tablica 12. Sažetak regresijske analize

| Model | R | R ² | Adjusted R ² | Std. Error of the Estimate |
|-------|--------------------|----------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,624 ^a | 0,389 | 0,365 | 0,732 |

a. Predictors: (Constant), Broj znakova koji NE zadovoljavaju / km, Prosječan godišnji dnevni promet, Prosječno ograničenje brzine

Ukoliko se prouče samostalni doprinosi pojedinih prediktora (Tablica 13), može se vidjeti da su se *prosječan godišnji dnevni promet* te *ukupan broj znakova koji ne zadovoljavaju po kilometru* pokazali statistički značajnim samostalnim prediktorima, dok se doprinos prosječnog ograničenja brzine na cesti izgubio. Kad bi se prosječno ograničenje brzine na cesti izbacilo iz ove analize, koeficijent multiple korelacije iznosio bi 0,607, odnosno, dva preostala prediktora zajedno objašnjavaju oko 37% varijance kriterija, što predstavlja neznatan pad.

Dakle, zaključak je da su se od osam korištenih prediktora za predviđanje broja nesreća s poginulima i ozlijeđenima u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru statistički značajnim samostalnim prediktorima pokazali PGDP i broj znakova koji ne zadovoljavaju propisanu minimalnu razinu retrorefleksije po kilometru ceste, i to na

način da se na cestama koje imaju veći PGDP i koje po kilometru imaju više nezadovoljavajućih znakova događa i više nesreća s poginulima i ozlijeđenima po kilometru.

Tablica 13. Regresijski koeficijenti

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------|
| | B | Std. Error | Beta | | |
| (Constant) | 0,067 | 0,619 | . | 0,108 | 0,914 |
| 1 Prosječno ograničenje brzine | -0,014 | 0,009 | -0,147 | -1,609 | 0,112 |
| 1 Prosječan godišnji dnevni promet | 0,000 | 0,000 | 0,352 | 3,868 | 0,000 |
| 1 Broj znakova koji NE zadovoljavaju / km | 0,148 | 0,035 | 0,394 | 4,241 | 0,000 |

a. Dependent Variable: Ukupno poginulih i ozlijeđenih / km

8. RASPRAVA

Neprilagođena brzina kretanja vozila, loše vremenske prilike i uvjeti smanjene vidljivosti, uz nekvalitetnu prometnu signalizaciju, često dovode do konfliktnih situacija popraćenih lakšim i teškim ozljedama sudionika u prometnim nesrećama. Upravo iz tog razloga određivanje utjecaja kvalitete prometnih znakova u uvjetima smanjene vidljivosti na učestalost nastanka prometnih nesreća predstavlja osnovni cilj ovog rada. Analizom prikupljenih i obrađenih podataka dolazi se do konkretnih zaključaka o povezanosti kvalitete prometne signalizacije u uvjetima smanjene vidljivosti i nastanka prometnih nesreća.

Parametri koji su korišteni u statističkoj analizi su ukupan broj prometnih nesreća s ozlijeđenim i poginulim osobama po kilometru ceste, duljina ceste, prosječno ograničenje brzine, PGDP, udio znakova koji zadovoljavaju propisanu vrijednost koeficijenta retrorefleksije, udio znakova opasnosti, izričitih naredbi i prometne opreme ceste koja zadovoljava, broj znakova koji ne zadovoljavaju po kilometru i prosječna dob sudionika u nesrećama s poginulim i ozlijeđenim osobama. Podaci o kvaliteti prometnih znakova i iznos koeficijenta retrorefleksije pojedinog znaka prikupljeni su na temelju terenskih ispitivanja koje je provodio Zavod za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu. Zabilježen je ukupan broj prometnih znakova na 130 državnih cesta u RH, broj znakova po kilometru ceste te duljina pojedine promatrane dionice. Kako bi se odredio odnos kvalitete prometnih znakova i učestalosti nastanka prometnih nesreća, bilo je potrebno prikupiti i podatke o broju prometnih nesreća i PGDP-u u 2014. godini, koji je preuzet iz [20]. Podaci o broju i posljedicama prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti u 2014. godini preuzeti su od strane Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske. Prometne nesreće razvrstane su prema posljedicama na prometne nesreće s ozlijeđenim i poginulim osobama te s materijalnom štetom.

Pretpostavka je da u uvjetima smanjene vidljivosti u prometu (noć, sumrak i svitanje) pravovremena i dobra uočljivost prometnih znakova može upozoriti na nadolazeću opasnost na karakterističnim dijelovima ceste te spriječiti nastanak prometnih nesreća i povećati stanje sigurnosti. Zbog toga se kvaliteta prometnih znakova u tim uvjetima, u ovom radu uzela kao presudan pokazatelj. Prilikom analize uzeti su u obzir podaci o broju prometnih nesreća s navedenim posljedicama u uvjetima smanjene vidljivosti. U

svrhu što veće preciznosti određivanja korelacije korišten je uzorak s velikim brojem podataka.

Rezultati provedene statističke analize pokazali su da se na cestama koje imaju veći PGDP i koje po kilometru imaju više nezadovoljavajućih znakova događa i više nesreća s poginulima i ozlijeđenima po kilometru. Dobiveni rezultati potvrdili su početnu hipotezu o učestalosti nastanka prometnih nesreća s ozlijeđenim i poginulim osobama na cestama s prometnim znakovima koji na zadovoljavaju minimalnu propisanu vrijednost koeficijenta retrorefleksije. Najveći broj prometnih nesreća događa se na dugim cestama, dok se prometne nesreće s ozlijeđenim i poginulim osobama češće događaju u uvjetima smanjene vidljivosti. Broj prometnih nesreća s poginulim i ozlijeđenim osobama znatno ovisi o prosječnom ograničenju brzine na cesti, PGDP-u te broju znakova koji ne zadovoljavaju po kilometru. Na cestama s većim intenzitetom prometa i s lošom kvalitetom prometnih znakova, u uvjetima smanjene vidljivosti, postoji velika mogućnost nastanka prometne nesreće s ozlijeđenim ili poginulim osobama. Drugim riječima, izračunata korelacija potvrđuje da će s porastom broja znakova s nezadovoljavajućom kvalitetom retrorefleksije u uvjetima smanjene vidljivosti rasti i broj prometnih nesreća s poginulim i ozlijeđenim sudionicima.

Prometne nesreće nikako ne treba sagledavati kao samo jedan od statističkih pokazatelja s obzirom na to da i manja prometna nesreća može ostaviti dugoročne neželjene posljedice. Sigurnost svih sudionika danas je imperativ u području cestovnog prometa jer svaka incidentna situacija u prometu popraćena nastankom prometne nesreće uzrokuje velike troškove društva. Slijeđenjem drugih država u Europi usmjerenih na provođenje inicijative o potpunom izbjegavanju smrtnog stradanja u prometu (*Vision Zero*), Republika Hrvatska može prekinuti rastući trend broja poginulih osoba na cestama, koji je iznosio 308 u 2014., a 348 osoba u 2015. godini (navedeno u 6. poglavlju). Zahvatima na prometnoj infrastrukturi, točnije zamjenom postojećih neispravnih prometnih znakova, redovnim održavanjem i kontrolom istih, može se započeti sustavna promjena postojećeg, nesigurnog stanja na cestama diljem zemlje. Takve promjene predstavljaju male investicije u odnosu na ono što se njima može postići, a to je svakodnevna sveobuhvatna sigurnost sudionika u prometu na cestama.

9. ZAKLJUČCI

Cestovni promet, kao dio cjelokupnog prometnog i gospodarskog sustava je dinamičan, stohastičan i složen, stoga je potrebno njegovo funkcioniranje svakodnevno usavršavati i prilagođavati novonastalim situacijama. Osim poznatih činjenica, poput karakteristika pojedinca, prometnice i okoline, koje utječu na odvijanje prometa, najveću pažnju potrebno je posvetiti području sigurnosti prometa na cestama.

Podaci pokazuju da 40,84% od ukupnog broja prometnih nesreća, koje su se dogodile u 2014. godini, čine one s ozlijeđenim i poginulim osobama te da se 31,84% od svih nesreća dogodio tijekom noći, sumraka i svitanja. Od ukupno 139.773 znaka svih klasa, njih 19,87% ne zadovoljava minimalne uvjete vidljivosti. Analizom podataka i dobivenim odnosima o utjecaju kvalitete prometnih znakova na broj prometnih nesreća s ozlijeđenim i poginulim osobama na državnim cestama RH, jasno se pokazalo kako je nužno provesti značajne mjere poboljšanja za sigurno odvijanje prometa i zaštitu njegovih sudionika. Na temelju spomenutih činjenica provedbom statističke analize, PGDP i ukupan broj prometnih znakova koji ne zadovoljavaju minimalan propisan iznos koeficijenta retrorefleksije pokazali su se značajnim parametrima. Prikupljeni i obrađeni podaci o kvaliteti vertikalne prometne signalizacije i posljedicama prometnih nesreća, koje su se dogodile u 2014. godini na državnim cestama RH u uvjetima smanjene vidljivosti, ukazuju na povećanu učestalost nastanka prometnih nesreća na cestama s lošom kvalitetom prometnih znakova.

Višestrukom regresijskom analizom obrađeni su ulazni parametri koji su pokazali veliku povezanost nastanka prometnih nesreća i kvalitete prometnih znakova. Preciznije, određena je značajna statistička povezanost između broja prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti s poginulim i ozlijeđenim osobama te tri prediktora: prosječno ograničenje brzine, PGDP te broj znakova po kilometru ceste koji ne zadovoljava minimalne propisane vrijednosti koeficijenta retrorefleksije. Na temelju izračunate pozitivne korelacije između broja prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti s poginulima i ozlijeđenima i znakova po kilometru ceste koji ne zadovoljavaju minimalne propisane vrijednosti koeficijenta retrorefleksije, potvrđuje se početna hipoteza o povezanosti kvalitete prometne signalizacije i broja prometnih nesreća.

Obrađeni parametri samo su neki od mogućih koji se mogu uzeti u obzir i poslužiti kao osnova za daljnju analizu stanja sigurnosti prometa na cestama Republike

Hrvatske, a i šire. Sustavnim prikupljanjem podataka kako o opremi ceste, tako i o incidentima na cestama, može se kreirati baza korisnih podataka za buduća istraživanja. Ovakva i slična istraživanja bi u budućnosti mogla pokazati utjecaj cestovne infrastrukture na sigurnost odvijanja prometa.

10. ZAHVALE

Zahvaljujemo mentoru doc. dr. sc. Darku Babiću i Dariju Babiću, mag. ing. traff. na usmjerenju, savjetima i pomoći prilikom izrade rada te statističke obrade podataka i pristupu podacima sa Zavoda za prometnu signalizaciju.

Također, zahvaljujemo se dr. sc. Željku Šariću na ustupljenim podacima o broju i posljedicama prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj u 2014. godini.

Igoru Habuzinu, mag. ing. traff. zahvaljujemo na pomoći prilikom obrade podataka.

11. LITERATURA

- [1] Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10).
- [2] Adminaite D, Jost G, Stipdonk H, Ward H. Ranking EU progress on road safety European Transport Safety Council. Brussels; 2016.
- [3] European Union Road Federation. Improved Signage for Better Roads. Bruxelles; 2015.
- [4] Fakultet prometnih znanosti. Zavod za prometnu signalizaciju: Kontrola kvalitete retrorefleksije horizontalne i vertikalne signalizacije na državnim cestama s prikupljanjem podataka za ažuriranje baze cestovnih podataka. Zagreb; 2013.-2015.
- [5] Ščukanec A. Autorizirana predavanja iz kolegija Prometna signalizacija. Zagreb; 2016./2017.
- [6] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 33/2005)
- [7] Ščukanec A. Primjena retroreflektirajućih materijala u funkciji cestovnoprometne sigurnosti. Zagreb; 2003.
- [8] Ščukanec A. Autorizirana predavanja iz kolegija Vizualne informacije u prometu. Zagreb; 2016./2017.
- [9] Egelko B, SF GATE. 17.travanj 2017.
<http://www.sfgate.com/bayarea/article/Soda-industry-SF-officials-in-court-over-city-11079344.php>.
- [10] Olson P.L. Forensic Aspects of Driver Perception and Response. USA, Tucson, Arizona; 1996.
- [11] ATSSA. 1.ožujak 2017.
<http://www.atssa.com/Retroreflectivity/WhatisRetroreflectivity.aspx>.
- [12] REFLECT-ALL. 1.ožujak 2017.
<http://reflect-all.eu/?p=330>.
- [13] European Comission. Mobility and Transport. 3.ožujak 2017.
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/
- [14] OECD/ITF. Spending on Transport Infrastructure: Trends, Policies, Data. 2013.

- [15] European Transport Safety Council. Cost Effective EU Transport Safety Measures. Bruxelles; 2003.
- [16] Elvik R, Rydningen U. Effektkatalog for trafikksikkerhetstiltak. Transportøkonomisk institutt. Oslo; 2002.
- [17] Department of Infrastructure and Transport. BITRE Evaluation of the National Black Spot Program. Canberra; 2012.
- [18] HRN EN 12899-1:2008 - Stalni okomiti cestovni prometni znakovi - 1. dio: Stalni znakovi.
- [19] Consiglio Nazionale delle Ricerche. Common understanding of assessment procedure (CUAP), Microprismatic retro-reflective sheetings. Roma; 2002.
- [20] Hrvatske ceste d.o.o. Brojanje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2014. Zagreb; 2015.
- [21] Ministarstvo unutarnjih poslova RH (interni podaci)
- [22] Biljan-August M, Pivac S, Štambuk A. Uporaba statistike u ekonomiji. Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka; 2009.

SAŽETAK

Helena Dijanić, Marija Ferko, Maja Modrić

ODREĐIVANJE UTJECAJA KVALITETE PROMETNIH ZNAKOVA NA UČESTALOST NASTANKA PROMETNIH NESREĆA

Prometni znakovi su sredstvo pomoću kojeg nadležna tijela komuniciraju sa sudionicima u prometu na način da ih informiraju o stanju prometnice, upozoravaju na nadolazeće opasnosti te ograničenja, zabrane i obaveze. Prometna nesreća je događaj na cesti izazvan kršenjem prometnih pravila u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu te u kojem je izazvana materijalna šteta ili je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili preminula. Cilj ovog rada je odrediti povezanost između nastanka prometnih nesreća i kvalitete prometne signalizacije kako bi se odredilo može li se uvođenjem kvalitetnije signalizacije pozitivno utjecati na smanjenje broja nesreća. U svrhu rada proučavano je 130 državnih cesta u Republici Hrvatskoj. Podaci o znakovima prikupljeni su kroz projekt kontrole kvalitete prometne signalizacije Zavoda za prometnu signalizaciju pri Fakultetu prometnih znanosti, podaci o PGDP-u i duljinama prometnica prikupljeni su od strane poduzeća Hrvatske ceste d.o.o., dok su podaci o prometnim nesrećama preuzeti od Ministarstva unutarnjih poslova. U svrhu određivanja korelacije korišteno je više varijabli, od kojih su se statistički značajnima pokazali podaci o prometnim nesrećama u uvjetima smanjene vidljivosti (noć, sumrak, svitanje) na državnim cestama, duljina tih prometnica, PGDP te broj prometnih znakova koji ne zadovoljavaju minimalne propisane uvjete koeficijenta retrorefleksije. Podaci su obrađeni kroz statističku analizu pomoću koje je određen pozitivan koeficijent korelacije između broja prometnih nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti po kilometru ceste i broja nezadovoljavajućih prometnih znakova po kilometru ceste. Ovim se rezultatom pokazalo kako postoji povezanost između nesreća i prometnih znakova koji ne zadovoljavaju propisanu razinu retroefleksije, odnosno da se s povećanjem broja znakova koji nemaju zadovoljavajuću razinu retrorefleksije očekuje i povećanje broja nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti.

Ključne riječi: prometni znakovi, prometna nesreća, korelacija, sigurnost u prometu

SUMMARY

Helena Dijanić, Marija Ferko, Maja Modrić

DETERMINATION OF THE IMPACT OF TRAFFIC SIGNS QUALITY ON THE OCCURENCE OF TRAFFIC ACCIDENTS

Traffic signs are means by which the competent authorities communicate with traffic participants and inform them about the state of road, alert them about the upcoming threats and restrictions, prohibitions and obligations. Traffic accident is an incident on the road caused by violation of traffic rules involving at least one vehicle on the move and where material damage has been caused or at least one person has been injured or had died. The aim of this paper is to determine the correlation between the occurrence of traffic accidents and traffic signalization quality in order to determine if the introduction of better signalization can positively influence the reduction of accidents. For the purpose of this paper, 130 state roads were studied in the Republic of Croatia. Signalization data were collected through a traffic control project of the Department for Traffic Signalization at the Faculty of Transport and Traffic Sciences. AADT data and road length were collected from road maintenance company Hrvatske ceste d.o.o., while data on traffic accidents were taken over by the Ministry of the Interior. For the purpose of determining the correlation, several variables have been used. As a statistically significant variables there are: traffic accidents occurred under conditions of reduced visibility (night, dusk, dawn) on state roads, length of these roads, AADT and number of traffic signs that do not meet the minimum prescribed values of retroreflection coefficient. Data were processed through statistical analysis by which a positive coefficient of correlation between accidents and unsatisfactory traffic signs was determined. This result showed that there is a correlation between these variables, i.e. that with increase of the number of traffic signs that don't have a satisfactory level of retroreflection, an increase of the number of accidents in low visibility conditions is expected.

Key words: traffic signs, traffic accidents, correlation, traffic safety

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Faze percepcije prometnog znaka | 9 |
| Slika 2. Smanjena vidljivost prometnog znaka u urbanoj sredini | 11 |
| Slika 3. Sastavni dijelovi prometnog znaka..... | 13 |
| Slika 4. Princip retrorefleksije | 14 |
| Slika 5. Prizmatična (1) i sferična (2) retrorefleksija..... | 15 |
| Slika 6. Materijal klase I - Engineer Grade..... | 16 |
| Slika 7. Materijal klase II - High Intensity Grade | 17 |
| Slika 8. Materijal Klase III – Diamond Grade | 19 |
| Slika 9. Relativna promjena smrtnosti na cestama tijekom 2014. i 2015. | 20 |
| Slika 10. Prikaz smrtnosti na cestama u Europi i uštede od prevencije nastanka iste | 21 |
| Slika 11. Prikaz odnosa smrtnosti na cestama na milijun stanovnika po državama u Europi | 22 |
| Slika 12. Usporedba promjene viđenja boja ovisno o starosti vozača | 24 |
| Slika 13. Trend kretanja smrtnog stradavanja na cestama u EU | 24 |
| Slika 14. Izgled sučelja programskog alata "Retrorefleksija" | 28 |
| Slika 15. Prikaz ulaznog kuta i kuta gledanja..... | 28 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Dimenzije prometnih znakova prema mjestu postavljanja..... | 5 |
| Tablica 2. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase I jedinice $cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$ | 29 |
| Tablica 3. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase II jedinice $cd \cdot x^{-1} \cdot m^{-2}$ | 29 |
| Tablica 4. Koeficijent retrorefleksije R_A : Klase III jedinice $cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$ | 29 |
| Tablica 5. Ukupan broj znakova po klasama | 30 |
| Tablica 6. Broj znakova prema značenju | 31 |
| Tablica 7. Osnovni podaci o analiziranim državnim cestama | 33 |
| Tablica 8. Pregled broja nesreća (2014. g.)..... | 34 |
| Tablica 9. Pregled broja prometnih nesreća u različitim uvjetima (2014. g.)..... | 36 |
| Tablica 10. Korelacija između ukupnog broja poginulih i ozlijeđenih s glavnim karakteristikama ceste | 38 |
| Tablica 11. Korelacije svih korištenih prediktora međusobno i s kriterijem - brojem poginulih i ozlijeđenih u uvjetima smanjene vidljivosti po km..... | 41 |
| Tablica 12. Sažetak regresijske analize | 42 |
| Tablica 13. Regresijski koeficijenti | 43 |

POPIS GRAFIKONA

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Oštrina vida s obzirom na starosnu dob vozača..... | 12 |
| Grafikon 2. Udio znakova prema klasama koji zadovoljavaju i ne zadovoljavaju minimalne uvjete retrorefleksije | 31 |
| Grafikon 3. Prikaz ukupnog broja znakova prema značenju..... | 32 |
| Grafikon 4. Udio broja nesreća prema posljedicama i uvjetima vidljivosti (2014. g.) | 35 |
| Grafikon 5. Udio nesreća prema posljedicama za vrijeme smanjene vidljivosti (2014. g.) | 35 |