

Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova

Kurdić, Magdalena

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:826842>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-03**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Magdalena Kurdić

MODEL DEGRADACIJE RETROREFLEKSIJE
PROMETNIH ZNAKOVA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

MODEL DEGRADACIJE RETROREFLEKSIJE PROMETNIH ZNAKOVA

Mentor: doc. dr. sc. Darko Babić

Student: Magdalena Kurdić, 0135217204

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Prometni znakovi se postavljaju kako bi korisnicima pružili adekvatnu i pravovremenu informaciju te na taj način omogućili sigurno odvijanje prometa. Noć i loši vremenski uvjeti, s obzirom na vidljivost, predstavljaju najsloženije situacije u prometu iz razloga što se u navedenim uvjetima vidno polje znatno smanjuje čime se usporava proces percepcije te umanjuje njegova točnost. Da bi prometni znakovi bili uočljivi i kako bi sudionici u prometu mogli pravovremeno reagirati izrađuju se od retroreflekirajućih materijala. Važan element održavanja prometnih znakova je njihovo ispitivanje. Snaga retrorefleksije s godinama i pod utjecajem vanjskih čimbenika se smanjuje te je potrebno provoditi periodička ispitivanja retrorefleksije kako bi se ocijenila kvaliteta prometnih znakova. Na temelju kontinuiranih ispitivanja retrorefleksije prometnih znakova, koje je provodio Zavod za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanost, izrađeni su modeli degradacije retrorefleksije pojedinih materijala i boja prometnih znakova. Cilj izrade modela je dobivanje mogućnosti predviđanja retrorefleksije prometnih znakova te optimiziranje cjelokupnog procesa održavanja.

KLJUČNE RIJEČI: prometni znakovi; retrorefleksija; model degradacije

SUMMARY

Traffic signs are placed on the road to give adequate and prompt information and to ensure safe traffic flow. Considering visibility, night and bad weather conditions are most complicated situations in traffic due to the extreme decrease of visual field and slowing down the process of perception and its accuracy. To keep traffic signs visible and make sure that drivers can react on time, they are being made out of retroreflective material. Important element of maintaining traffic signs are their examination. The strength of retroreflection is decreasing due to the years and impact of external factors, therefore periodic examination of retroreflection are needed to assess their quality. Based on continual examination of retroreflection of traffic signs, made by The Institute for Traffic Lights of the Faculty of Traffic Engineering, models of retroreflection degradation of some materials and the colors of traffic signs were made. The goal of making these models is making the possibility of predicting the retroreflection of traffic signs and optimising the whole process of maintaining them.

KEYWORDS: traffic signs; retroreflection; degradation model

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OSNOVNI POJMOVI O PROMETNIM ZNAKOVIMA.....	3
2.1. Povijesni pregled prometnih znakova	4
2.1.1. Međunarodni propisi o prometnim znakovima.....	6
2.1.2. Prva Pariška konvencija.....	6
2.1.3. Ženevska konvencija.....	7
2.1.4. Bečka konvencija.....	7
2.2. Podjela prometnih znakova	8
2.2.1. Podjela prometnih znakova prema obliku, boji i dimenzijama.....	8
2.2.2. Podjela prometnih znakova prema značenju.....	10
2.2.2.1. Znakovi opasnosti.....	10
2.2.2.2. Znakovi izričitih naredbi	11
2.2.2.3. Znakovi obavijesti	12
2.2.2.4. Znakovi obavijesti za vođenje prometa	13
2.2.2.5. Dopunske ploče	15
2.2.2.6. Promjenjivi prometni znakovi	16
2.3. Izrada, postavljanje i održavanje prometnih znakova	17
3. REFLEKSIJA I RETROREFLEKSIJA	21
3.1. Refleksija.....	21
3.1.1. Zrcalna refleksija	21
3.1.2. Difuzna refleksija.....	22
3.1.3. Retrorefleksija.....	22
3.1.3.1. Sferična retrorefleksija	24
3.1.3.2. Prizmatična retrorefleksija.....	24
4. RETROREFLEKTIRAJUĆI MATERIJALI ZA IZRADU PROMETNIH ZNAKOVA	25
4.1. Materijal Klase I- Engineer Grade	27
4.2. Materijal Klase II- High Intensity Grade	28
4.3. Materijal Klase III- Diamond Grade	29

5. ISPITIVANJE RETROREFLEKSIJE PROMETNIH ZNAKOVA I METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA	31
6. MODEL DEGRADACIJE RETROREFLEKSIJE PROMETNIH ZNAKOVA	37
6.1. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase I	37
6.2. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase II	42
6.3. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase III.....	47
7. ZAKLJUČAK	51
Literatura	53
Popis slika	55
Popis tablica	55
Popis grafikona	56

1. UVOD

Jedna od ključnih odrednica cestovnog prometa svake države je sigurnost u prometu. Jedan od efikasnih načina povećanja sigurnosti u prometu je primjena suvremene prometne signalizacije, kako vertikalne tako i horizontalne. U Republici Hrvatskoj, sva prometna signalizacija izrađuje se i postavlja sukladno *Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 33/2005 i 155/2005)*.

Prometni znakovi upozoravaju sudionike prometa na opasnost koja im prijeti na određenoj cesti ili dijelu te ceste, stavljaju do znanja ograničenja, zabrane i obveze kojih se sudionici moraju pridržavati i daju potrebne obavijesti za siguran i nesmetan tok prometa. Na sigurno odvijanje prometa bitno utječu prometni znakovi, njihovo pravilno postavljanje (na određenoj udaljenosti i visini) te njihova veličina i retroreflektirajuća svojstva. Snaga retrorefleksije retroreflektirajućih materijala za izradu prometnih znakova mora zadovoljavati minimalne uvjete sjajnosti kako bi sudionici u prometu mogli na vrijeme uočiti prometne znakove te sukladno značenju i poruci koju nosi znak pravovremeno reagirati. Neodgovarajući i nedovoljno vidljivi prometni znakovi smatraju se značajnim faktorom koji utječe na nastanak prometnih nesreća. Primjenom odgovarajućih tehnologija i materijala s dobrim retroreflektirajućim svojstvima za izradu prometnih znakova doprinosi se povećanju sigurnosti odvijanja prometa. Retrorefleksija prometnih znakova s vremenom se smanjuje, uslijed utjecaja vanjskih čimbenika te ju je iz navedenog razloga potrebno periodički ispitivati.

Naglasak rada stavljen je na analizu degradacije snage retrorefleksije prometnih znakova, pojedino za svaku klasu materijala, kroz određeni niz godina u odnosu na početno stanje. Cilj rada je na temelju provedene analize postotka pada koeficijenta retrorefleksije prometnih znakova, definirati degradacijski model retrorefleksije pojedine klase prometnih znakova. Navedeni izračun će se temeljiti na stvarnim podacima sustavnog ispitivanja prometnih znakova na području Grada Zagreba koja Zavod za prometnu signalizaciju provodi nekoliko godina.

Na osnovu modela degradacije moguće je predvidjeti životni vijek prometnih znakova, odnosno optimizirati sustav održavanja prometnih znakova, čime bi se povećala sigurnosti cestovnog prometa te optimizirali troškovi održavanja.

Materija ovog rada izložena je sedam poglavlja.

Prvo poglavlje predstavlja Uvod, u kojem se opisuje tematika rada, predmet i cilj te sadržaj i struktura rada.

U drugom poglavlju, „Osnovni pojmovi o prometnim znakovima“, opisani su najvažniji pojmovi vezani za prometne znakove, kao što su povijesni razvoj, njihova podjela te postavljanje i održavanje.

Pojam „Refleksija i retrorefleksija“, kao i njihove vrste opisani su u trećem poglavlju.

U četvrtom poglavlju, „Retroreflektirajući materijali za izradu prometnih znakova“, opisani su retroreflektirajući materijali za izradu prometnih znakova.

Peto poglavlje odnosi se na „Ispitivanje retrorefleksije prometnih znakova“. U navedenom poglavlju pojašnjena je metodologija ispitivanja koeficijent retrorefleksije prometnih znakova.

U šestom poglavlju, „Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova“, provedena je analiza dobivenih podataka te je predstavljen model degradacije retrorefleksije prometnih znakova.

U zadnjem poglavlju „Zaključak“ iznesena su osobna razmišljanja i zaključak na zadanu temu.

2. OSNOVNI POJMOVI O PROMETNIM ZNAKOVIMA

Kako bi se omogućilo sigurno odvijanje prometa bitnu ulogu u tome ima prijenos informacija sudionicima u prometu. Takve informacije sudionici u prometu dobivaju prometnom signalizacijom, koja se dijeli na vertikalnu i horizontalnu. Ovaj rad usmjeren je na prometne znakove, odnosno na vertikalnu prometnu signalizaciju.

Osnovni elementi vertikalne signalizacije su [1]:

- prometni znak,
- nosač prometnog znaka i
- dijelovi za pričvršćivanje znaka na nosač.

Prometni znakovi su osnovna sredstva komunikacije između nadležnih za ceste i sudionika u prometu te služe za upravljanje prometnim tokovima. To su simbolične slikovne ili tekstovne obavijesti o značajkama prometnice i njezina okoliša, smjerovima, načinima i brzinama kretanja, mjestima i pravilima zadržavanja prometala koja se ne kreću te druge obavijesti koje pridonose sigurnom odvijanju prometa. Prometni znakovi koriste se u svim prometnim granama, ali njihova važnost posebice je izražena u cestovnome prometu. Cestovni prometni znakovi dijele se na znakove opasnosti, izričitih naredbi, obavijesti, obavijesti za vođenje prometa i na promjenljive prometne znakove. Obično se izrađuju u obliku tanke ploče postavljene na stupu s desne strane kolnika ili pak na konzolnoj istaci iznad njega. Površina im je refleksijska, a to vozačima omogućuje njihovo pravodobno uočavanje noću [21].

Tehnološkim napretkom i učinkovitom signalizacijom omogućila bi se bolja sigurnost svih sudionika u prometu. Prometno tehničkim mjerama uz mala financijska sredstva mogu se postići drastična smanjenja prometnih nesreća i crnih točaka. Vidljivost prometnih znakova u dnevnim uvjetima može se povećati koristeći fluorescentne boje [2].

U zadnje vrijeme sve se više primjenjuju i prometni znakovi sa svjetlećim diodama raspoređenima prema obliku prikaza. Takvi znakovi mogu imati i promjenljiv sadržaj, ekonomični su, trajni i dobro uočljivi. Često se koriste na autocestama, obično u sklopu sustava automatskog upravljanja prometom, u kojem se na osnovi podataka o meteorološkim prilikama i stanju kolnika, te količini, brzini i vrsti vozila, prilagođava obavijest što ju ti znakovi prikazuju, a time se postiže željeni prometni protok.

Kako bi prometni znakovi mogli ispunjavati svoju funkciju, moraju zadovoljavati sljedeće [1]:

- zadovoljiti potrebe sudionika u prometu,
- privući pozornost vozača,
- prenositi jednostavne i jasne informacije,
- pobuđivati respekt vozača i pješaka,
- biti smješteni tako da sudionicima u prometu da je dovoljno vremena za pravilnu reakciju.

Zahtjevi koje prometni znakovi moraju zadovoljiti su [1]: čitljivost, razumljivost, uniformiranost, kontinuiranost, konstantnost, uočljivost, jednostavnost i jednoobraznost. Pod tim se zahtjevima podrazumijeva da svi elementi prometnog znaka moraju biti čitljivi, koncipirani i prezentirani na način da su podjednako razumljivi svim sudionicima u prometu, da sva mjesta istih funkcija i karakteristika trebaju na isti način biti opremljena prometnim znakovima, da je sudionik u prometu na svim dijelovima prometne mreže kontinuirano obaviješten, da prometni znakovi zadrže isti oblik, boju i veličinu danju i noću, da moraju biti uočljivi u svim vremenskim uvjetima i različitim uvjetima okoline, da su na onoj razini detaljnosti koja osigurava njezinu punu učinkovitost, da budu jednoobrazni neovisno na kojem dijelu prometne mreže trebaju djelovati.

2.1. Povijesni pregled prometnih znakova

U početku čovjek je obilježavao puteve kamenjem i granjem kako bi si olakšao kretanje u prostoru. Rimljani su uz svoje ceste postavljali putokaze i kamene miljokaze, kako bi znali na kojoj se udaljenosti nalaze od Rima. Nakon uvođenja cestarina u Europi u 18. stoljeću porasla je važnost putokaza i miljokaza koji su služili za obračun cestarina. Zbog sve većeg broja bicikala sredinom 19. stoljeća na cestama su bila označavana opasna mjesta, kao što su: zavoji, uzdužni nagibi, loš kolnik; a zatim, radi neometana kretanja pješaka i jahača, na pojedinim bi se mjestima označavala i zabrana vožnje biciklima. Kako se početkom 20. stoljeća razvijao automobilski promet, prometni znakovi na cestama i ulicama postali su nužni. U Velikoj Britaniji uvedeni su 1903. zakonski standardizirani prometni znakovi na razini naselja, a to su bili: crveni trokut za opasnost, crveni krug za zabranu prometa i bijeli kružni vijenac za ograničenje brzine. Mnoge

zemlje su uz ceste postavljali svoje znakove upozorenja te putokaze. Iz tog razloga u Europi je bila potrebna standardizacije znakova, pa su 1909. bila dogovorena prva četiri prometna znaka: raskrižje, zavoj, grbav kolnik, križanje ceste i željezničke pruge u razini. Ti su znakovi bili simbolički, čime su izbjegnuti problemi višejezičnosti. Iako se standardiziranost znakova povećala još uvijek postoje razlike, čak i među europskim zemljama [3].

U Engleskoj, koja je početkom 19. stoljeća bila najrazvijenija industrijska zemlja u svijetu, sve su se češće na cestama susretla vozila koja su pogonjena parom odnosno parni omnibusi. Prednost omnibusa u odnosu na konjske zaprege bila je udobnost i redovitost prijevoza. Vlasnici društava za prijevoz konjskim zapregama nisu odustali od borbe za povratak njihovih linija te su čekali prometne nesreće u kojima bi sudjelovao omnibus.

Prva prometna nesreća u kojoj je sudjelovao omnibus dogodila se 1831. godine u Londonu, koja nije bila teška. Ubrzo se i u Glasgowu dogodila prometna nesreća u kojoj je stradala jedna osoba te je mogućnost uporabe parnih omnibusa došla i pred parlament.

Nakon mnogo nesuglasica 1836. godine izglasan je zakon pod nazivom "*Locomotive Acts*", koji je 1865. dopunjen. Navedeni zakon smatra se prvim prometnim propisom o ograničavanju brzine na cestama [3]. Osim ograničenja brzine, obvezivao je svakog vozača da na 100 metara ispred vozila ima jahača koji će mahati crvenom zastavom i upozoravati prolaznike na dolazeću opasnost. Bilo je dovoljno da kočijaš digne ruku i vozilo se moralo zaustaviti. Zakon je predviđao da u slučaju bilo kakve nesreće odgovornost snosi vozač parnog vozila [3].

Zakon crvene zastave (slika 1) ukinut je tek 1896. godine, a za posljedicu imao je zaostajanje Engleske za drugim razvijenim industrijskim državama u gradnji svih vrsta vozila na mehanički pogon.



Slika 1. Zakon crvene zastave

Izvor: [4]

2.1.1. Međunarodni propisi o prometnim znakovima

Pojavom prvih motornih vozila na cestama, koja su sve češće prelazila državne granice, početkom 20. stoljeća pojavljuje se i potreba za međunarodnim propisima koji bi ujednačivali prilike na svim cestama.

Prva međunarodna Konvencija o cestovnom i automobilskom prometu sklopljena je 1909. godine u Parizu. Slijedile su kasnije konvencije u drugim gradovima, a najvažnija je Ženevska iz 1949. godine kada je donesen Protokol o signalizaciji na cestama, te potom njegove izmjene i dopune iz 1968. godine koje je donijela Međunarodna konferencija Organizacije ujedinjenih naroda o prometu na cestama u Beču [3].

Te su konvencije preporučivale da sve države propisuju jednake prometne znakove, da na prometnim znakovima ne bude riječima ispisanih naredaba ili obavijesti jer ih stranci i nepismeni nerazumiju.

2.1.2. Prva Pariška konvencija

Prvom Pariškom konvencijom, održanom 1909. godine, određeni su oblici prometnih znakova. Znakovi opasnosti su dobili oblik istostraničnog trokuta s vrhom prema gore, znakovi izričitih naredaba su okrugli, a znakovi obavijesti pravokutni. Ispočetka postojalo je oko deset prometnih znakova, a danas ih ima oko dvjesto. Postoje znakovi koji su nekada bili standardni, a danas se više ne koriste.

Nakon posljednjih izmjena i dopuna Protokola o prometnoj signalizaciji iz 1968. godine uveden je u uporabu osmerokutni znak obveznog zaustavljanja umjesto dotadašnjeg okruglog znaka s ucrtanim trokutom. Jedino taj znak je takvog oblika te zbog njegovog posebnog izgleda željela se istaknuti njegova važnost u odnosu na ostale znakove [3].

Prije nego je čovjek postao ovisan o automobilu kao sredstvu putovanja, nije ni bilo potrebe za proučavanjem prometnih znakova. Tijekom prijašnjim putovanja koja su bila determinirana trebalo je se donositi vrlo malo odluka. Smjerovi, udaljenosti i sigurnost na cestama označivali su se prometnim oznakama različitog oblika, veličine, boje i dizajna.

Vozači koji su putovali po ostalim državama nailazili su na prometne znakove koje nisu prije poznavali. Taj se problem pojavljivao i u SAD-u čak i između saveznih država. Kako bi se izbjegle takve dvojbe, mnoge su države počele zajednička istraživanja radi rješavanja tog problema.

Delegati Međunarodne konvencije 1909. godine u Europi potpisali su savez koji je trebao pružiti pomoć u označivanju autocesta. Godine 1931. u Parizu je potpisana Konvencija o unifikaciji prometnih znakova i signala na cestama, koja je krajem Drugoga svjetskog rata bila zastarjela [3].

2.1.3. Ženevska konvencija

Prvi i najvažniji sporazum o prometnim znakovima, koji čini osnovicu europskog sustava o prometnim znakovima, objavljen je pod okriljem Ujedinjenih naroda 1949. godine u Ženevi. Taj je protokol temeljen na simbolima, bez uporabe riječi. Kao dopuna tog protokola, 1953. godine je načinjen Nacrt konvencije kojim se nastojalo upotrijebiti postojeći sustav s dopunom koja potječe iz američkog sustava. U međuvremenu, ustanovljeno je još nekoliko sporazuma, tako da je do kraja sedamdesetih godina postojalo više sustava. U svijetu je u uporabi nekoliko sustava znakova [3]:

- **U SAD-u, u Australiji i Novom Zelandu** u uporabi je sustav koji je najviše utemeljen na uporabi pisanih riječi.
- **Sustav u Europi**, utvrđen Protokolom, uglavnom je utemeljen na simbolima bez uporabe riječi.
- **Latinska Amerika, države Srednje Amerike i neke zemlje u Aziji** poštuju Nacrt konvencije iz 1953. godine. Također se upotrebljavaju simboli, ali na različite načine. Znakovi upozorenja su u obliku romba umjesto trokuta, crvena dijagonalna crta na znakovima isključivo se upotrebljava za zabranu. Znakovi zabrane i dozvole ne mogu se razlikovati na osnovi boje.
- **Kanadski sustav** najviše koristi simbole, a zasnovan je na Protokolu i Nacrtu konvencije iz 1953. godine i američkom sustavu s nekim novim znakovima.
- U nekom dijelovima **istočne i južne Afrike** koristi se neka varijanta staroga britanskog sustava, koji je kombinacija simbola iz Protokola i pisanih tekstova. Inače su britanski znakovi u velikom dijelu kombinacija riječi i simbola.

2.1.4. Bečka konvencija

Kako bi se prometni znakovi unificirali i normizirali na međunarodnoj razini, donesen je novi sporazum na Konferenciji cestovnog prometa u Beču 1968. godine, također pod okriljem Ujedinjenih naroda. U toj Konvenciji iz 1968. željelo se što više uključiti najrašireniji sustav iz

Nacrta konvencije iz 1953. i Protokola koji koristi Europa. Ta konvencija je također osnova i za naše prometne znakove.

Postojalo je još sporazuma čiji je cilj bio jednostavnije komuniciranje među narodima i državama. Unatoč nastojanjima da se postigne što veća univerzalnost, pokazalo se da nije lako postići usuglašavanje u korištenju prometnih znakova. Usuglašavanje bitno otežavaju brojni tehnički, ekonomski, politički razlozi, a i različite navike ljudi. U zemljama gdje postoji velika gustoća prometa ponajviše je izražena potreba za unificiranjem i pojednostavljenjem znakova[3].

2.2. Podjela prometnih znakova

U ovom poglavlju ukratko će biti pojašnjena podjela prometnih znakova. Prometni znakovi mogu se podijeliti prema različitim kriterijima kao što su [1]:

- oblik,
- boja,
- dimenzije,
- značenje itd.

2.2.1. Podjela prometnih znakova prema obliku, boji i dimenzijama

Kako bi sudionici u prometu što prije raspoznali značenje prometnih znakova i na vrijeme mogli reagirati postoje tri glavna oblika: jednakostranični trokut, kvadrat ili pravokutnik i krug te veći broj podoblika prometnih znakova.

Znakovi opasnosti koji imaju zadaću da upozore sudionike u prometu na opasnost koja im prijete na određenom dijelu ceste imaju oblik jednakostraničnog trokuta.

Znakovi obavijesti imaju oblik kvadrata ili pravokutnika, oni pružaju sudionicima u prometu potrebne obavijesti o cesti kojom se kreću, nazivima mjesta kroz koja prolaze i udaljenosti od tih mjesta. Također, daju informacije o prestanku važenja znakova izričitih naredbi kao i druge korisne obavijesti.

Prometni znakovi u obliku kruga su znakovi izričitih naredbi koji stavljaju na znanje sudionicima u prometu na cesti, a to su: zabrane, obavijesti, ograničenja i obaveze [1].

Pored osnovnih oblika prometnih znakova postoje i neki drugi oblici [1], a to su:

- osmerokut za znak “obavezno zaustavljanje”,

- naopačke okrenuti trokut za znak “križanje s cestom s prednošću prolaza”,
- pravokutnici u obliku slova X koji označavaju znak “Andrijin križ”,
- romb koji predstavlja znak “cesta s prednošću prolaza” i “završetak ceste s prednošću prolaza”,
- pravokutnik sa završetkom u obliku strelice koji predstavlja znak “putokaz”.

Kod izrade prometnih znakova, boje koje se koriste su: bijela, žuta, crvena, plava, zelena, crna te za posebne uvjete narančasta i smeđa. Osnovna boja kod znakova opasnosti je bijela boja, a rubovi trokuta su crveni, osim znaka A25 čija je osnovna boja žuta. Simboli na znakovima opasnosti prikazani su crnom bojom. Kod znakova zabrane i ograničenja osnovna boja je bijela, a kod znakova obveze plava boja. Simboli i natpisi na znakovima zabrane i ograničenja su crne boje, a na znakovima obveza bijele. Rub kruga te ravne i kose crte, ako ih ima na znaku, su crvene boje. Ploče na kojima su umetnuti znakovi zabrane i ograničenja imaju podlogu bijele boje. Osnovna boja kod znakova obavijesti može biti žuta, plava, zelena i bijela. Natpisi i simboli kod osnovne žute boje su crni, a kod zelene su bijele boje. Kod znakova s osnovnom plavom bojom natpisi i simboli su bijele, crne, crvene ili zelene boje te kod osnovne bijele boje simboli i natpisi mogu biti crne, crvene ili plave boje. Osnovne boje znakova obavijesti za vođenje prometa ovise o vrsti ceste, te je tako na autocestama zelena sa simbolima i natpisima bijele boje, na brzim cestama plava boja također s bijelim simbolima i natpisima. Na državnim i ostalim cestama osnovna boja je žuta sa simbolima i natpisima crne boje te za dijelove gradova, naselja bijela sa simbolima i natpisima crne boje [1].

Prema kategoriji prometnice određuje se potrebna veličina prometnog znaka (tablica 1).

Tablica 1. Veličina prometnog znaka prema kategoriji prometnice

MJESTO POSTAVLJANJA	OBLIK		
	Istostranični trokut [cm]	Krug ili osmerokut [cm]	Kvadrat ili pravokutnik [cm]
Autocesta i cesta rezervirana za promet motornih vozila, državne ceste	120	90	90x90 90x135
Županijske ceste i glavne gradske prometnice	90	60	60x60 60x90
Ostale ceste	60	40	40x40 40x60
Umetnuti znakovi	40	30	/

Izvor: [7]

2.2.2. Podjela prometnih znakova prema značenju

Podjelu prometnih znakova prema značenju u Republici Hrvatskoj definira Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cesti, te se sukladno tome znakovi dijele na [1]:

- znakovi opasnosti
- znakovi izričitih naredbi
- znakovi obavijesti
- znakovi obavijesti za vođenje prometa
- dopunske ploče
- promjenjivi prometni znakovi

2.2.2.1. Znakovi opasnosti

Znakovi opasnosti sudionicima u prometu označuju blizinu dijela ceste ili mjesto na kojem sudionicima u prometu prijeti opasnost (slika 2). Oni se, u pravilu, postavljaju izvan naselja na udaljenosti 150 do 250 m ispred opasnog mjesta na cesti.

Znakovi se mogu postavljati i na udaljenosti manjoj od 150 m ispred opasnog mjesta na cesti, ako to zahtijevaju okolnosti na dijelu ceste na kojemu se znak postavlja. Ako sigurnost prometa zahtijeva, osobito brzina kojom se vozila kreću ili nepreglednost ceste, ti će se znakovi opasnosti postaviti i na udaljenosti većoj od 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.

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

Osnovna boja je bijela, rubovi trokuta su crveni, a simboli crne boje. Iznimke od pravila glede osnovne boje, oblika i udaljenosti postavljanja: radovi na cesti, promet u oba smjera, križanje ceste iste važnosti, križanje sa sporednim cestama, Andrijin križ, prijelaz ceste preko željezničke pruge [1].



Slika 2. Znakovi opasnosti

Izvor: [5]

2.2.2.2. Znakovi izričitih naredbi

Znakovi izričitih naredbi stavljaju do znanja sudionicima u prometu na cesti zabrane, ograničenja i obveze (slika 3).

Znakovi izričitih naredbi postavljaju se neposredno na mjesta na kojima za sudionike u prometu počinje obveza da se drže naredbe izražene prometnim znakom.

Ako je zbog slabe preglednosti ceste ili zbog drugih razloga sigurnosti sudionike u prometu potrebno unaprijed obavijestiti o izričitoj naredbi, znak izričite naredbe može biti postavljen i na odgovarajućoj udaljenosti od mjesta od kojega naredba vrijedi.

Znakovima izričitih naredbi, koji se prema zakonu postavljaju na određenoj udaljenosti ispred mjesta na kojem je postavljen znak izričite naredbe i od kojeg vrijedi, moraju se dodati dopunske ploče s naznakom udaljenosti od mjesta od kojega naredba vrijedi.

Znak B08 (zabrana prometa za cisterne), B09 (zabrana prometa za vozila koja prevoze eksploziv ili neke lakozapaljive tvari) i B10 (zabrana prometa za vozila koja prevoze opasne tvari), postavljaju se u skladu s odredbama posebnih propisa.

Znakovi izričitih naredbi moraju se ponovno postaviti nakon svakoga križanja s drugom cestom ako izričita naredba vrijedi i poslije takvog križanja.

Izričita naredba izražena znakom zabrane i ograničenja ili znakom obveze postavljenim na ulazu u naselje na istom stupu na kojem je postavljen i znak za obilježavanje naseljenog mjesta vrijedi na području cijelog naselja ako na pojedinim cestama ili dijelovima ceste u naselju nije

Znakovi izričitih naredbi s promjenljivom porukom postavljaju se uvijek iza stalnih znakova izričitih naredbi [1].



Izvor: [5]

Znakovi obavijesti postavljaju se tako da sudionicima u prometu daju prethodne obavijesti, obavijesti o prestrojavanju, obavijesti o skretanju, obavijesti o smjeru kretanja te da označe objekt, teren, ulicu ili dijelove ceste na koje se odnose.

Ako se objekt ili teren na koji se znak obavijesti odnosi ne nalazi na cesti na kojoj je znak postavljen, potrebna obavijest može biti postavljena na dopunskoj ploči ili na samom znaku tako da se sudionicima u prometu omogući lak i brz pronalazak objekata, odnosno terena na koji se znak odnosi [1].



Slika 4. Znakovi obavijesti

Izvor: [5]

2.2.2.4. Znakovi obavijesti za vođenje prometa

Znakovi obavijesti za vođenje prometa obavještavaju sudionike u prometu o pružanju cestovnih smjerova, rasporedu odredišta i vođenju prometa prema njima, križanjima i čvorištima na određenom smjeru ceste i udaljenostima do odredišta (slika 5).

Svrha i ciljevi vođenja prometa [1]:

- utvrđivanje optimalne trase i cestovnog pravca,
- pronalaženje željenog odredišta,
- određivanje položaja vozača na mreži cesta i prostoru,

- osiguranje ravnomjernog i sigurnog toka prometa,
- usmjeravanje prometa i željena distribucija prometnog toka na određenoj razini mreže,
- sigurnost u prometu.



Slika 5. Znakovi obavijesti za vođenje prometa

Izvor: [5]

Obavješćavanje sudionika u prometu znakovima obavijesti za vođenje prometa u zoni raskrižja provodi se u pet stupnjeva.

Stupnjevi obavijesti su [1]:

1. prethodno obavješćavanje;
2. obavješćavanje o smjeru kretanja;
3. obavješćavanje o prestrojavanju;
4. obavješćavanje o skretanju;
5. potvrdno obavješćavanje.

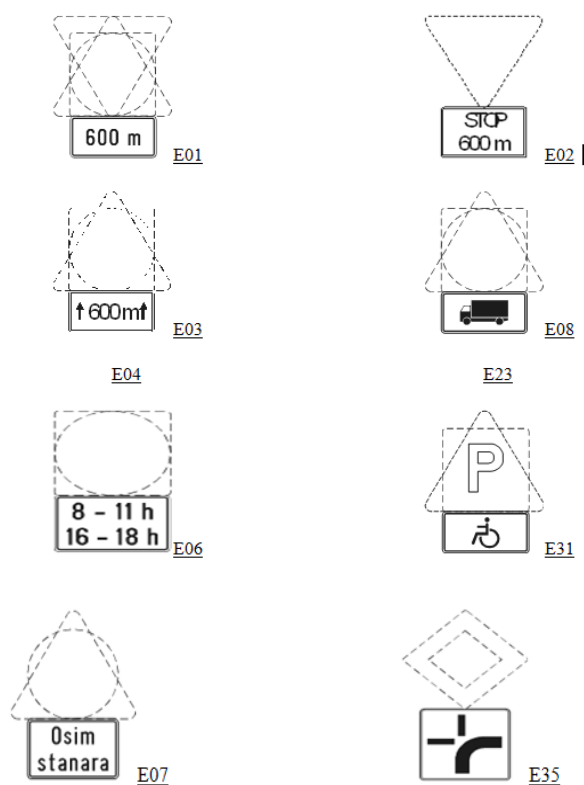
Na autocestama, brzim cestama i cestama s raskrižjima u više razina moraju se postaviti svih pet stupnjeva obavijesti. Na državnim cestama moraju se postaviti drugi, četvrti i peti stupanj, a

treći ako je cesta s više prometnih traka, dok se na županijskim cestama moraju postaviti drugi i četvrti, a na ostalim cestama najmanje četvrti stupanj obavijesti.

Ovisno o vrsti i kategoriji ceste, geometrijskom oblikovanju raskrižja te o udaljenosti dvaju susjednih raskrižja, može se izostaviti ili dodati jedan od stupnjeva obavijesti, osim četvrtog stupnja obavijesti koji je obavezan.

2.2.2.5. Dopunske ploče

Dopunske ploče postavljaju se uz znakove opasnosti, znakove izričitih naredbi i znakove obavijesti (slika 6). Dopunske ploče pobliže određuju značenje prometnog znaka. Pravokutnog su oblika. Ističu se zajedno s prometnim znakovima na koje se odnose i to ispod donjeg ruba prometnog znaka. Na prometnim znakovima na autocestama mogu biti postavljene i iznad gornjeg ruba prometnog znaka [1].



Slika 6. Dopunske ploče

Izvor: [5]

2.2.2.6. Promjenjivi prometni znakovi

Promjenljivi prometni znakovi su znakovi kojima se sadržaj prema potrebama prometnoga toka može mijenjati ili se mogu isključiti. Koristeći elektromehaničke tehnologije mogu se prikazati različite poruke [1].

Uporabom odgovarajućih, za pojedinu prometnu odnosno vremensku situaciju, primjerenih upozorenja, naredbi i zabrana, te obavijesti preusmjeravanja prometa, treba se posvetiti građevinski uvjetovanim opasnim točkama. Neki od primjera promjenjivih prometnih znakova prikazan je na slici 7.



Slika 7. Promjenjivi prometni znakovi

Izvor: [6]

Promjenjivi prometni znakovi mogu biti [1]:

- Kontinuirani- izgledom jednaki stalnim prometnim znakovim i
- Nekontinuirani- moguća inverzija boja i pojednostavljen prikaz simbola u odnosu na stalne prometne znakove.

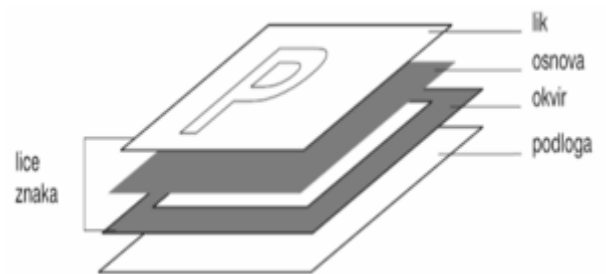
Nekontinuirani znakovi mogu se izvesti u tehnologiji [1]:

- optičkih vlakana,
- svjetlosnih polja, dodanih na obične znakove,
- svjetlećih dioda (LED),
- tekućih kristala (LCD).

2.3. Izrada, postavljanje i održavanje prometnih znakova

Pravilnikom o prometnim znakovima na cestama propisani su vrsta, značenje, oblik, boja, dimenzije i postavljanje prometnih znakova.

Prometni znak čine lice znaka i podloga (slika 8). Prednja strana znaka, koju korisnici vide kada nailaze na znak, predstavlja lice znaka. Lice znaka sastoji se od lika, osnove i okvira. Lik znaka su simbol i/ili natpisi. Osnova znaka predstavlja element na kojemu se upisuje lik i nalazi se ispod simbola i teksta. Dio znaka koji uokviruje simbol odnosno natpis naziva se okvir. Sastavni dio znaka na kome se nalazi osnova znaka sa svim elementima predstavlja podlogu znaka.



Slika 8. Sastavni dijelovi prometnog znaka

Izvor: [7]

Svi prometni znakovi izrađuju se prema *Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 33/2005 i 155/2005)*.

Pri izradi prometnog znaka, ovisno za koju kategoriju cestovne prometnice je previđen, treba primijeniti retroreflektivnu foliju određene klase, koja mora imati propisanu jačinu retrorefleksije za pojedinu boju te mora biti definirana njegova stabilnost na ultraljubičasto zračenje, debljina podloge znaka (2 ili 3 mm) sa ili bez pojačanog okvira i vodoravnim ojačanjem. Prometni znakovi moraju biti izrađeni od antikorozivnog lima određene kvalitete i sadržaja aluminija [23]. Lim se reže na određene oblike i veličine te se rubovi savijaju radi bolje otpornosti na vjetar, nakon čega se s gornje strane lima uklonjaju nečistoće i slijedi lijepljenje folije. Pozadina prometnog znaka mora biti sive boje i bez sjaja kako bi se vozačima spriječilo odvratanje pozornosti. Vezni elementi moraju biti izrađeni od antikorozivnog materijala ili moraju imati antikorozivnu zaštitnu presvlaku [23].

Postoje dva načina izrade prometnih znakova [7]:

- a) ispisivanje prometnih znakova na folije pomoću poltera i
- b) oslikavanje folija za prometne znakove metodom sitotiska.

a) Jedan od načina izrade prometnih znakova je ispisivanje prometnih znakova na folije, koje se vrši pomoću računala i printera velikih dimenzija odnosno plotera. Nakon ispisivanja prometnih znakova na folije potrebno ih je izrezati na odgovarajuće dimenzije. Kada se cijela folija izrađuje printanjem potrebno je plastificirati folije. Zaštitna laminacija štiti foliju od oštećenja i UV zračenja te omogućuje lakše brisanje i čišćenje.

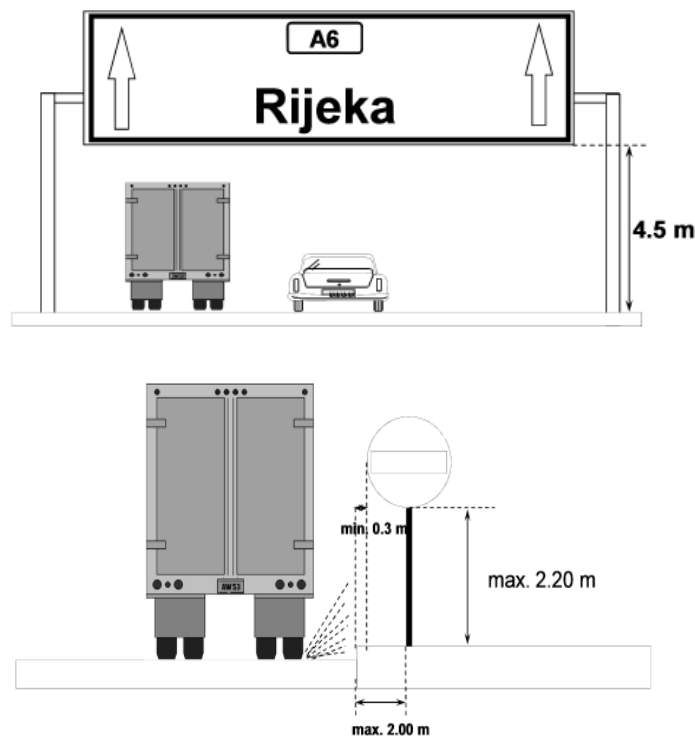
b) Kako bi se postigla maksimalna trajnost i postojanost boje, štampanje simbola i natpisa na folije vrši se pomoću odgovarajućih uređaja i boja za sitotisak. Okvir sita izrađuje se od tvrdog drva ili metala, koji mora biti dovoljno velik, kako bi se osigurao potreban prostor između okvira i površine za štampanje (15- 20cm). Tkanina sita mora biti čvrsto i ravnomjerno napeta i učvršćena na okvir. Rakel treba biti dovoljno dugačak da potpuno pokrije površinu za tisak uz 5cm preklopne dužine na svakom kraju. Metoda sitotisak u odnosu na ispisivanje prometnih znakova na folije predstavlja bolji način izrade prometnih znakova [7].

Prometni znakovi postavljaju se tako da ne ometaju kretanje vozila i pješaka.

Prometni znakovi postavljaju se [7]:

- s lijeve ili desne strane ceste,
- na portalima iznad ceste,
- na stupovima rasvjete,
- na stupovima semafora,
- na zidovima i ogradama.

Na cestama izvan naselja postavljaju se na visini 1.20 do 1.40m osim znakova B59, B60, B61, C74, C75, C76, C77, C127, C128, C129, C130, C131, C132 i C133 koji se postavljaju na visini 0.80 do 1.20m. U naseljima smješteni uz kolnik postavljaju se na visini 0.30 do 2.20m, a prometni znakovi smješteni iznad kolnika postavljaju se na visini 4.5m, iznimno i na većoj. Visina se računa od površine kolnika do donjeg ruba prometnog znaka, a ako se prometni znak postavlja zajedno s dopunskom pločom, računa se do donjeg ruba dopunske ploče. Stup prometnog znaka, u pravilu, se postavlja najviše 2m od kolničkog ruba, a vodoravni razmak između ruba kolnika i najbližeg ruba prometnog znaka mora iznositi najmanje 0.30m (slika 9) [1].



Slika 9. Pravilno postavljanje prometnih znakova

Izvor: [7]

Svaki prometni znak mora imati jasnu i prepoznatljivu poruku za sudionike u prometu. Ponekad nije do kraja jasno u kojim slučajevima koristiti neki prometni znak, kako od više mogućih za istu situaciju odabrati jedan znak, kako međusobno kombinirati znakove na jednom stupu. Prometni znakovi trebaju biti postavljeni tamo gdje je potrebno i u određenom broju radi sigurnosti prometa. Postavljanje prometnih znakova se izvodi na mjestima koja predstavljaju moguću opasnost koju vozači bez pomoći prometnih znakova ne bi mogli spoznati.

Propisima iz Zakona i Pravilnika određeno je: izgled i dimenzije, kada se uz stalne postavljaju privremeni prometni znakovi, kako se prometni znakovi moraju održavati, na kojoj visini se postavljaju, kako se ta visina računa, s koje strane ceste se postavljaju, minimalna udaljenost znaka od ruba kolnika u poprečnom smislu, maksimalna udaljenost stupa znaka od ruba kolnika u poprečnom smislu, koliko znakova na jedan stup, koji znak i kada, osim na stup može biti postavljen na semaforski stup, stup rasvjete, ostale stupove, konzolu ili portal [7].

Kod pričvršćivanja prometnih znakova trebaju biti izvedeni tako da s prednje strane znaka nema vidljivih tragova pričvršćivanja. Elementi za pričvršćivanje moraju onemogućiti okretanje prometnog znaka oko osi stupa. Prometni znakovi pričvršćuju se na stupove koji su izrađeni od željeznih cijevi i zaštićeni protiv korozije postupkom vrućeg cinčanja ili na aluminijske stupove. Prometni znakovi čija je površina veća od 2m, izrađuju se od više segmenata i spajaju se na mjestu postavljanja u jednu cjelinu. Kod postavljanja prometni znak treba zakrenuti za 3-5° u odnosu na os prometnice da se izbjegne intenzivna refleksija i smanji kontrast oznaka, znaka i pozadine koja je osvijetljena.

Održavanje vertikalne signalizacije [8]:

- a) Uništeni prometni znakovi opasnosti i izričitih naredbi moraju se zamijeniti odmah, a najkasnije u roku 48 sati od uočavanja. Do zamjene uništenog mora se postaviti privremeni prometni znak istoga značenja.
- b) Ostali uništeni prometni znakovi moraju se zamijeniti čim prije, a najkasnije u roku deset dana od uočavanja.
- c) Oštećenja prometnih znakova (ploča, folija, nosač, pričvrсни pribor) moraju se otkloniti odmah ako je narušena funkcionalnost prometnog znaka. U ostalim slučajevima popravak se mora izvršiti najkasnije u roku deset dana od uočavanja.
- d) Čišćenje se mora provoditi po potrebi, tako da se osigura stalna vidljivost prometnih znakova.
- e) Mjerenje svojstava retrorefleksije svih prometnih znakova obavljaju se jednom u dvije godine.

3. REFLEKSIJA I RETROREFLEKSIJA

Vidljivost je osnovni izvor informacija potreban prilikom upravljanja vozilom. Procjene su da se 90% osnovnih informacija u vezi s vožnjom dobije vizualnim putem. Znakovi moraju imati do deset puta veću jačinu osvijetljenosti u područjima velike kompleksnosti, a da ima isti učinak kao i znak koji se nalazi u području male kompleksnosti [7]. Također je vrlo važno za sigurnost u prometu da su uređaji na vozilima koji omogućuju normalnu vidljivost ispravni a tu spadaju vjetrobranska stakla, brisači vjetrobrana, perač vjetrobrana te vozačko zrcalo.

Vidljivost nekog predmeta određuje jačina i boja svjetla kojim zrači u odnosu na jačinu i boju svjetla kojim zrači njegova okolina.

Kako bi se mogla provesti pravovremena zamjena prometnih znakova potrebno je istražiti čimbenike koji utječu na retrorefleksiju prometnih znakova. Brojni čimbenici kao što su: prašina, prljavština i vremenski uvjeti mogu izrazito utjecati na retrorefleksiju prometnih znakova te smanjiti njihov vijek trajanja [9].

3.1. Refleksija

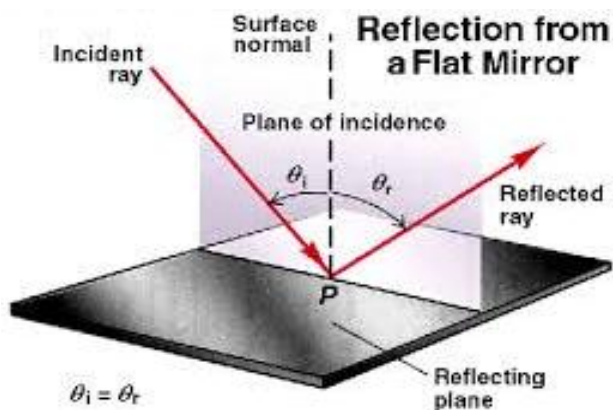
Refleksija je odnos svjetlosti, koja pada na neku površinu u odnosu na udio svjetlosti koji se odbija odnosno reflektira od te površine. Mjera refleksije jeste stupanj refleksije. Što je neka površina svjetlija, to je veći stupanj refleksije te se tako reflektira više zračenja.

Vrste refleksije su[7]:

- zrcalna,
- difuzna i
- retrorefleksija.

3.1.1. Zrcalna refleksija

Zrcalna refleksija je vrsta refleksije kod koje se svjetlost reflektira pod istim upadnim kutom u suprotnom smjeru. Nastaje na glatkim i sjajnim površinama (slika 10). Ako svjetlost pada pod pravim kutom ona se reflektira u smjeru svog izvora. Reflektirane zrake su paralelne jedna s drugom. Ulazni kut svjetlosti jednak je izlaznom. Većina zrcalnih površina u prometu ne reflektira svjetlost u smjeru očiju vozača [7]. Na mokrom i zaleđenom kolniku stvara bliještanje što u prometu predstavlja neželjenu pojavu.

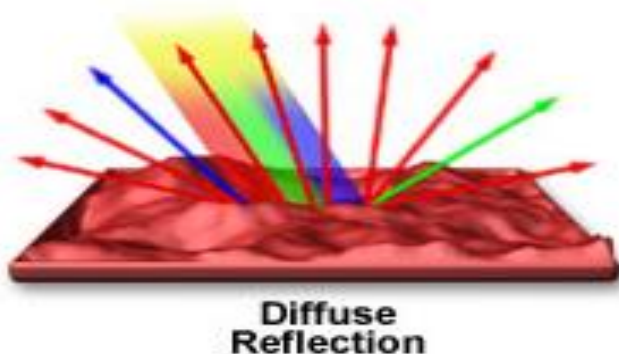


Slika 10. Zrcalna refleksija

Izvor: [10]

3.1.2. Difuzna refleksija

Difuzna refleksija je refleksija kod koje svjetlost ulazi pod jednim kutom, a reflektirane zrake šire se u različitim smjerovima, a ne samo u jednom kao kod zrcalne refleksije. Nastaje kada svjetlost pada na hrapave površine (kolnik, lišće, vozilo) [7]. Iz razloga što se svjetlost reflektira u svim smjerovima samo manji dio svjetlosti se vraća prema svom izvoru, kao što je prikazano na slici 11. U noćnim uvjetima ima slabu vidljivost te zbog toga nije prihvatljiva u prometu.



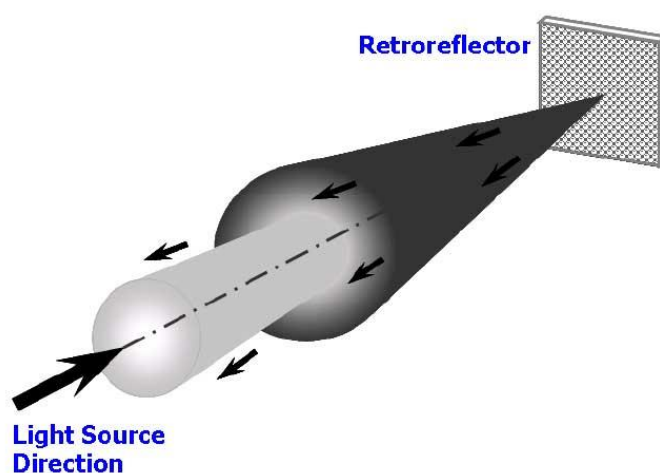
Slika 11. Difuzna refleksija

Izvor: [11]

3.1.3. Retrorefleksija

Kod retrorefleksije svjetlosni trak se uvijek vraća prema svom izvoru bez obzira na kut ulaza (slika 12). Retrorefleksija omogućuje odličnu vidljivost noću i u uvjetima smanjene vidljivosti. U

prirodi je relativno malo retroreflektora te da se iz tog razloga u prometnoj signalizaciji koriste umjetni retroreflektori. Retroreflektirajući materijali vraćaju dolazno svjetlo nazad prema svom izvoru, odnosno retroreflektirajući materijali vraćaju svjetlo koje dolazi od “farova” vozila u oči vozača [7]. Retrorefleksija u odnosu na zrcalnu i difuznu refleksiju ima najbolja svojstva za upotrebu u prometu.

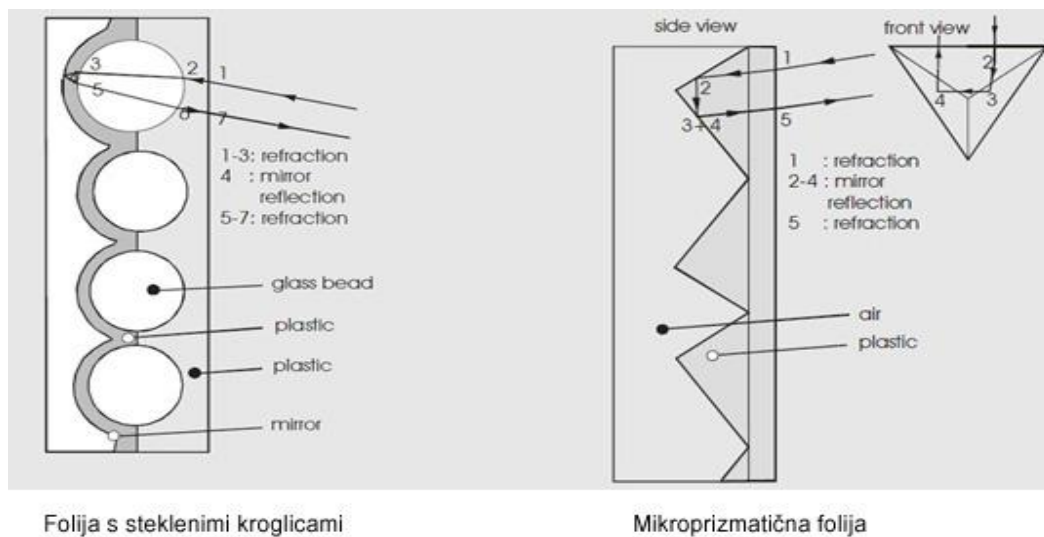


Slika 12. Retrorefleksija

Izvor: [12]

Vrste retrorefleksije [7]:

- sferična i
- prizmatična.

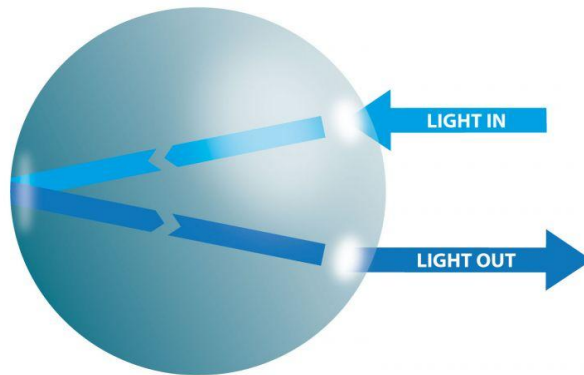


Slika 13. Vrste retrorefleksije

Izvor: [13]

3.1.3.1. Sferična retrorefleksija

Kod sferične retrorefleksije staklena kuglica lomi ulazni svjetlosni trak pri prolasku kroz prednju površinu staklene kuglice [7]. Svjetlost se zatim reflektira sa zrcalne površine iza kuglice, te se ponovnim prolaskom kroz prednju površinu kuglice, svjetlost lomi i reflektira u smjeru svog izvora (slika 14).

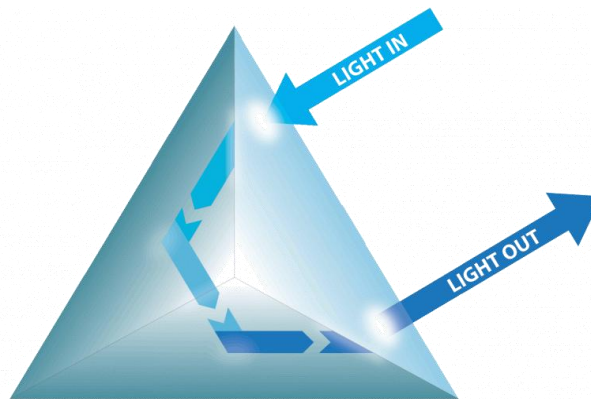


Slika 14. Sferična retrorefleksija

Izvor: [14]

3.1.3.2. Prizmatična retrorefleksija

Kod prizmatične retrorefleksije tri jednake okomite površine čine prizmu na kojoj se ulazni trak svjetlosti lomi i reflektira u smjeru svog izvora usporedno s ulaznim svjetlom (slika 15). Sa optičke točke gledišta, prizmatični reflektori su daleko savršeniji u odnosu na sferične i posjeduju vrlo veliki koeficijent retrorefleksije [7].



Slika 15. Prizmatična retrorefleksija

Izvor: [15]

4. RETROREFLEKTIRAJUĆI MATERIJALI ZA IZRADU PROMETNIH ZNAKOVA

Refleksija ne stvara vlastito svjetlo, nego posjeduje svjetlost iz drugog izvora. Svjetlosni trak pada na predmet i „odbija“ se od njega. Noću je posebno važno na koji način predmet reflektira svjetlo.

Retrorefleksija je količina svjetla koja se reflektira s retroreflektirajućih materijala. To se svjetlo mjeri u jačini reflektiranog svjetla u odnosu na ulazno svjetlo po četvornom metru reflektirajućeg materijala odnosno „candela po luxu po četvornom metru“.

Retrorefleksija nije jednaka u svim vremenskim uvjetima kao što nije ista danju ni noću (slika 16).

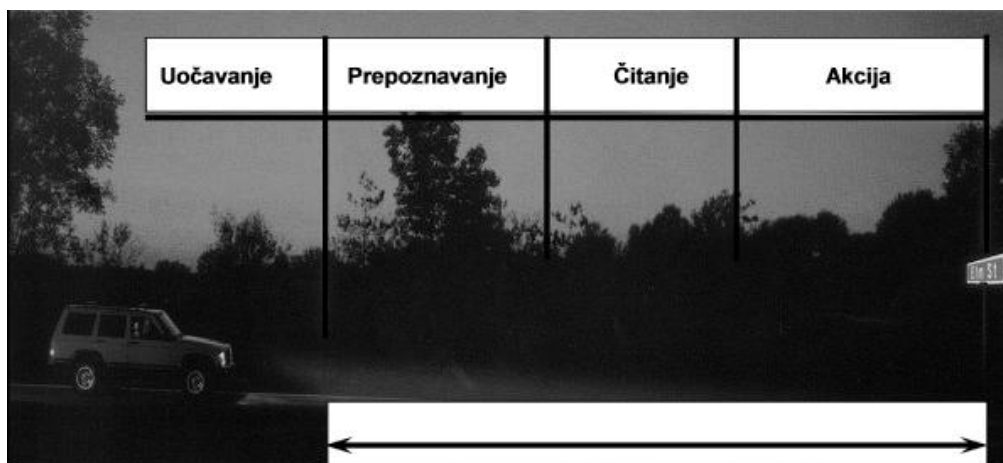


Slika 16. Retrorefleksija danju i noću

Izvor: [7]

Proces percepcije prometnog znaka sastoji se od tri faze [1]:

1. uočavanje
2. prepoznavanje
3. čitanje



Slika 17. Proces percepcije prometnog znaka

Izvor: [7]

Kako bi se omogućilo što kvalitetnije uočavanje, prepoznavanje i čitanje prometnih znakova posebno noću i uvjetima smanjene vidljivosti, prometni znakovi se izrađuju od retroreflektirajućih materijala (slika 17).

Prvi retroreflektirajući materijali izrađeni su 1939. godine u Minnesoti u SAD-u (tvrtka 3M). Retroreflektirajući materijali za izradu prometnih znakova nastali su koristeći mikro staklene kuglice i mikroprizme odnosno sferične i prizmatične retrorefleksije. Najviše se koriste mikrostaklene kuglice za izradu materijala sa sferičnom retrorefleksijom. Staklene kuglice su promjera od 0,01 do 0,1mm i ima ih oko 80 milijuna na jednom četvornom metru materijala. Takve prozirne kuglice zalivene su tankim, trajnim i zaštitnim prozirnim materijalom koji je debljine od 0,14 do 0,22mm [7].

Danas se primjenjuju tri tipa retroreflektirajućih materijala [16]:

1. materijal Klase I
2. materijal Klase II
3. materijal Klase III

Na osnovu prijašnjeg istraživanja osvijetljenosti prometnih znakova na pojedinim prometnicama odredio se pravilan izbor odgovarajuće Klase materijala. Time se došlo do zaključka da folije izrađene od materijala Klase I i II nisu preporučljive u noćnim uvjetima, osim ako postoji dodatna rasvjeta koja omogućava potrebno osvijetljenje prometnih znakova. Materijali Klase III mogu biti korišteni u većini situacija [17].

Kirk, A. R. sa suradnicima je u zajedničkom radu ispitivao trajnost retroreflektirajućih materijala prometnih znakova te na osnovu dobivenih podataka ustanovio da je kod materijala Klase III najmanji pad retrorefleksije u odnosu na Klasu I i II. Njihova trajnost se može produžiti pravilnim održavanjem [18].

4.1. Materijal Klase I- Engineer Grade

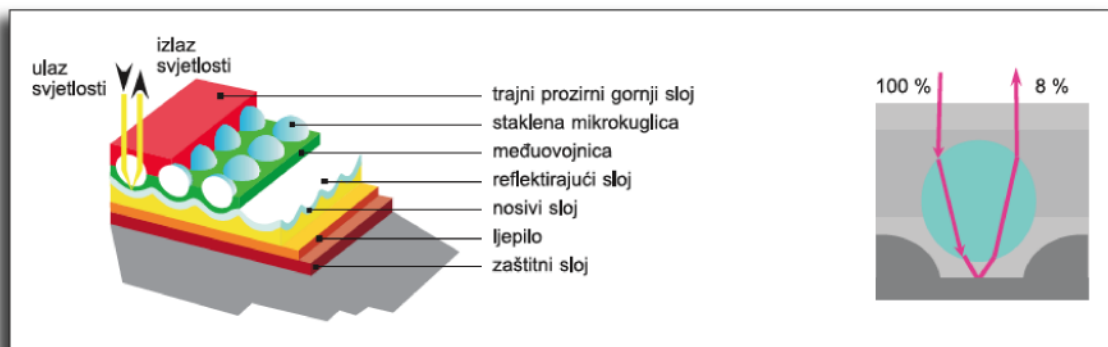
Materijal Klase I poznat je i kao folija prve generacije (slika 18). Retroreflektirajuće folije izrađene su od trajnog materijala s uvezanim staklenim mikrokuglicama koje se koriste i danas na područjima gdje je promet slabijeg intenziteta i s manjim brzinama vožnje. Tanki porozni sloj štiti od utjecaja sunčevih zraka na smanjenje refleksije i predstavlja dio optičkog sustava materijala. Sjaj retroreflektirajuće folije je $70 \text{ cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2}$ [19].



Slika 18. Folije Klase I

Izvor: [19]

Danas postoje i materijali Klase I izrađeni od trajnog materijala s mikrop prizmama (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. Jamstvo trajnosti refleksije je sedam godina.



Slika 19. Materijal Klase I

Izvor: [19]

4.2. Materijal Klase II- High Intensity Grade

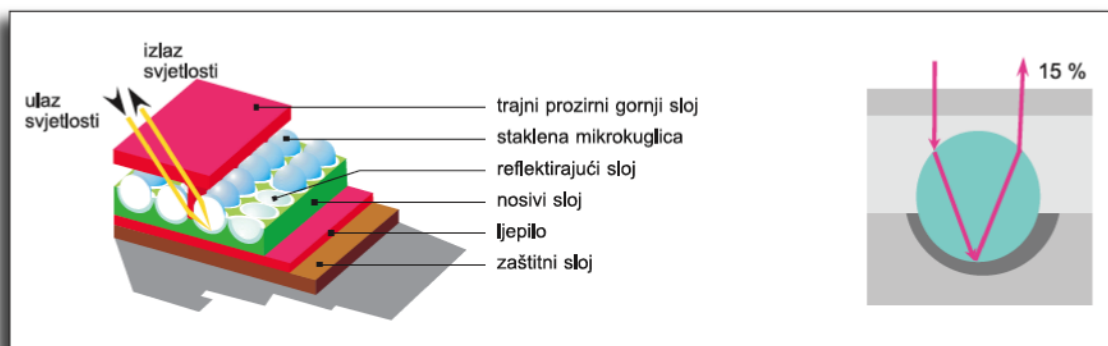
Materijal Klase II poznat je i kao folija druge generacije (slika 20). Reflektirajuće folije sadrže učahurene staklene mikrokuglice koje su trostruko sjajnije od reflektirajućih folija Klase I. Za ovu foliju daje se jamstvo da će i nakon deset godina uporabe na prometnicama zadržati najmanje 80 posto prvotne sjajnosti. Ovdje kuglice nisu ulijevane u plastiku, već su naliježljene na plastični nosač, a njihov gornji sloj je u kapsuli koja je napunjena zrakom i zatvorena tankim poroznim gornjim slojem. Pripada materijalima visokog sjaja. Struktura površine je u obliku saća, a to su noseće stanice koje osiguravaju bezračni prostor ispod površinskog sloja. Sjaj ove reflektirajuće folije je $250 \text{ cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2}$ [19].



Slika 20. Folije Klase II

Izvor: [19]

Danas postoje i materijali Klase II izrađeni od trajnog materijala s mikroprizmama (optičkih prizmatičkih 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.

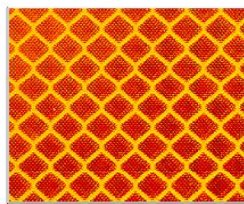


Slika 21. Materijal Klase II

Izvor: [19]

4.3. Materijal Klase III- Diamond Grade

Materijal Klase III poznat je i kao folija treće generacije (slika 22). Izrađen je od vrlo učinkovitih mikroprizama zahvaljujući kojima su folije više nego trostruko sjajnije od folija s ućahurenim staklenim mikrokuglicama i čak deseterostruko sjajnije od folija s uvezanim staklenim mikrokuglicama. Zbog tih svojstva vozačima na prometnicama omogućuju veću vidljivost u svim dnevnim, noćnim i lošim vremenskim uvjetima. Te folije pružaju veliku fleksibilnost u postavljanju znakova s obzirom na ulazne kutove svjetlosnog traka do 60 stupnjeva. Među svim trajnim folijama za izradu znakova ove folije raspolažu najsjajnijim reflektirajućim svojstvima. Jamstvo trajnosti refleksije je sedam godina, a sjaj folije je $800 \text{ cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2}$ [19].

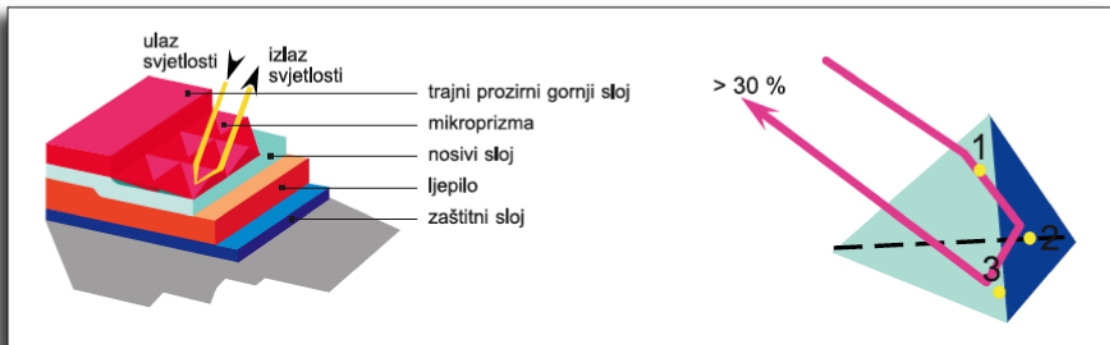


Slika 22. Diamond Grade folija

Izvor: [7]

Postoji više tipova ove reflektirajuće folije [19]:

1. V.I.P (Visual Impact Performance) – omogućuje maksimalnu učinkovitost na kratkim udaljenostima i idealno je rješenje za signalizaciju u gradskom prometu. Ova folija namijenjena je za veliku gustoću osvjetljenja na kratkoj udaljenosti.
2. L.D.P. (Long Distance Performance) – razvijena je specijalno za primjenu na autocestama i magistralnim cestama. Ova folija raspolaže vrlo učinkovitim mikrop prizmama koje ulazni trak svjetla vraćaju na veliku udaljenost. Znakovi izrađeni od ovih folija uočavaju se i prepoznaju s velikih udaljenosti.
3. Fluorescent – omogućuje povećanu vidljivost danju i noću, pomoću korištenja fluorescentnih boja.
4. Diamond Grade Cubed – „Kombinira najbolje osobine VIP i LDP DG folija stoga se upotrebljava kako u gradskim uvjetima, tako i na autoputevima i magistralama. Nova mikrokubična struktura pojačava vidljivost na svim udaljenostima te će ova folija vrlo brzo potpuno zamijeniti VIP i LDP verzije“.

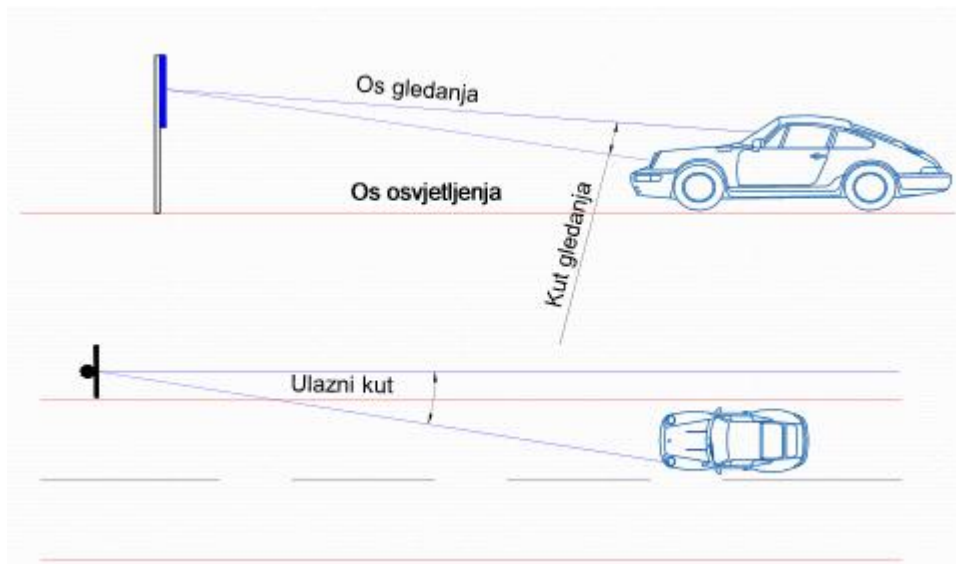


Slika 23. Materijal Klase III

Izvor: [19]

5. ISPITIVANJE RETROREFLEKSIJE PROMETNIH ZNAKOVA I METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA

Vrlo važan element održavanja prometnih znakova je njihovo ispitivanje. Ispitivanja se rade da se provjeri da li su prometni znakovi u skladu s „Pravilnikom o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama”, Narodne novine br. 33, (NN 33/2005.), i da li odgovaraju zahtjevima Hrvatskih normi HRN1114:2002., HRN 1115:2002., HRN 1116:2002., HRN 1117:2002., HRN 1118:2002., HRN 1119:2002. i RN 1126:2002. Sukladno normi HRN 12899-1:2008, u RH ispitivanja koeficijenta retrorefleksije rade se pod kutom gledanja od $0,33^\circ$ ($20'$) i ulaznim kutom svjetla od 5° , kao što je prikazano na slici 24 [7]. Ulazni kut se prvenstveno određuje položajem znaka na rubu ceste i geometrijom nadolazećeg položaja vozila te on predstavlja kut koji se stvara između svjetlosne zrake koja pada na površinu znaka i linije koja izlazi okomito od površine. Kut gledanja je kut između ulazne zrake svjetlosti i reflektirane zrake svjetlosti i funkcija je visine vozačevog oka u odnosu na prednja svjetla vozila. S obzirom da se pretpostavlja kako retroreflektirajući materijal reflektira većinu svjetla direktno nazad ka izvoru, optimalni kut gledanja mora biti nula. Međutim, u stvarnosti to nije tako s obzirom da je vozačevo oko više od prednjeg svjetla vozila [22].



Slika 24. Ispitivanje koeficijenta retrorefleksije pod određenim kutom gledanja i ulaznim kutom svjetla

Izvor: [7]

Minimalni početni koeficijent retrorefleksije R_L ($\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) retroreflektirajućih znakova Klase I mjereno u skladu s prije spomenutom normom HRN 12899-1:2008, mora odgovarati vrijednostima u tablici 2.

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

Geometrija mjerenja		Boja							
α	β_1 ($\beta_2=0$)	bijela	žuta	crvena	zelena	plava	smeđa	narandžasta	siva
12'	+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
20'	+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
# označava "Vrijednost veća od nule ali nije značajna ili nije primjenjiva"									

Izvor:[20]

Prema normi HRN 12899-1:2008 rade se ispitivanja koeficijenta retrorefleksije pod kutom gledanja od 0,33° (20') i ulaznim kutom svjetla od 5° gdje minimalni početni koeficijent retrorefleksije R_L ($\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) retroreflektirajućih znakova Klase II mora odgovarati vrijednostima u tablici 3.

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

Geometrija mjerenja		Boja								
α	β_1 ($\beta_2=0$)	bijela	žuta	crvena	zelena	tamno zelena	plava	smeđa	narančasta	siva
12'	+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
20'	+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
# označava "Vrijednost veća od nule ali nije značajna ili nije primjenjiva"										

Izvor:[20]

U skladu s normom HRN 12899-1:2008, minimalni početni koeficijent retrorefleksije R_L ($\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) retroreflektirajućih znakova Klase III mora odgovarati vrijednostima u tablici 4.

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

Geometrija mjerenja		Boja					
α	β_1 ($\beta_2=0$)	bijela	žuta	crvena	zelena	plava	narančasta
10'	+5°	850	550	170	85	55	260
	+20°	600	390	120	60	40	130
	+30°	425	275	85	40	28	95
20'	+5°	625	400	125	60	40	140
	+20°	450	290	90	45	30	100
	+30°	325	210	65	30	20	70
33'	+5°	425	275	85	40	28	95
	+20°	300	195	60	30	20	65
	+30°	225	145	45	20	15	49
# označava "Vrijednost veća od nule ali nije značajna ili nije primjenjiva"							

Izvor: [20]

Gotovo svi prometni znakovi koriste retroreflektivne folije, koja omogućuje vidljivost znaka noću, na način da dio svjetlosti od svjetala vozila reflektira nazad prema očima vozača. Boja i oblik znakova također mogu pružiti vozačima pravu informaciju čak i kad su riječi ili simboli na znaku nerazumljivi. Prometni znakovi trebaju se pregledati barem jednom godišnje radi provjere retrorefleksije i izgleda pri korištenju kratkih svjetala farova. Poželjno je provjeravati kvalitetu znakova noću budući da se samo tako mogu utvrditi vizualni nedostaci koji nisu vidljivi pri dnevnom svjetlu. No kad je riječ o provjeri znakova prenosivim ili pokretnim retroreflektrometrima, provjeru je bolje provoditi danju [22].

Podaci koji su potrebni u ovom radu su prikupljeni sustavnim ispitivanjem retrorefleksije prometnih znakova od strane Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, koje su provodili osam godina. Ispitivanje se obavljalo pomoću uređaja za mjerenje retrorefleksije Zehntner ZRS 6060 (slika 25). Zehntner ZRS 6060 koristi LED osvjetljenje i 3,5" dodirni zaslon u boji visoke rezolucije s podesivim nagibom zaslona. Koristi se za sve vrste i boje retroreflektivnog materijala te automatski detektira boju retroreflektivnog materijala. Bilježi GPS koordinate te nudi opciju pregleda rezultata ispitivanja u „MappingTools“ softveru. Također prilikom ispitivanja prometnih znakova uređaj automatski nudi opciju upisivanja dodatnih informacija vezanih za samo ispitivanje (vrsta znaka, grad u kojem je znak postavljen, ulica postavljanja, datum, proizvođač znaka, ...) kao i prijenos tih podataka na računalo radi daljnje obrade i analize što nije bio slučaj sa prijašnjim uređajem. Uređaji se oslanjaju na metodu supstitucije kalibracije i trebali bi se redovito kalibrirati [22]. Kako bi se dobili što vjerodostojniji podaci prometni znak je potrebno očistiti te se nakon toga vrši mjerenje retrorefleksije svih boja prisutnih na znaku, osim crne. Potrebno je tri puta izmjeriti retrorefleksiju za istu boju, nakon čega se uzima srednja vrijednost.

Na svim mjernim mjestima osim retrorefleksije analizira se [7]:

- vrsta znaka,
- naziv znaka,
- šifra znaka,
- grafički prikaz,
- oblik znaka,
- dimenzije znaka i odstupanje,
- boja (podloge, ruba i simbola),

- način postave,
- način pričvršćenja,
- visina znaka,
- udaljenost od ruba,
- vrsta podloge,
- način konstrukcije,
- datum postave,
- podaci o proizvođaču znaka,
- podaci o postavljaču znaka,
- klasa retroreflektirajuće folije,
- podaci o proizvođaču retroreflektirajuće folije,
- odnos najmanjih dozvoljenih i izmjerenih vrijednosti koeficijenta retrorefleksije.



Slika 25. Ispitivanje retrorefleksije prometnog znaka pomoću uređaja Zehntner ZRS 6060

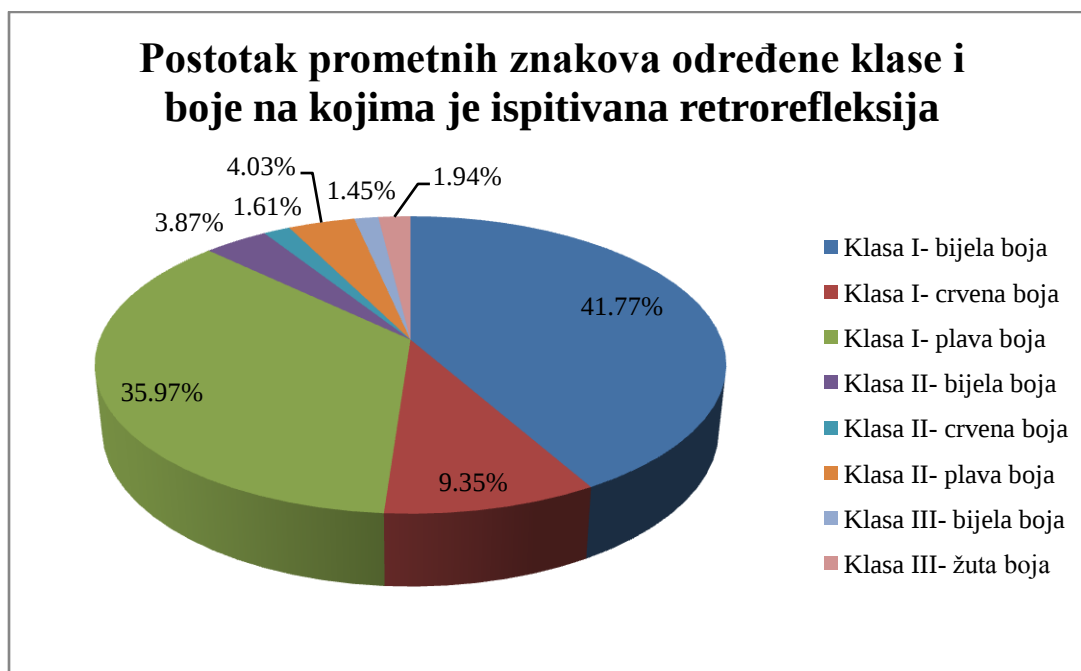
Izvor: Izradila autorica

Podaci retrorefleksije prometnih znakova koji su korišteni u ovom radu prikupljeni su sa sljedećih mjesta u vremenskom periodu od 2008. do 2015. godine:

- Kvaternikov trg,
- Prilaz Baruna Filipovića,
- Zeleni val
 - Boškovićeve- HNK,
 - Zagrebačka avenija.

Prikupljeni su podaci retrorefleksija bijele, crvene i plave boje Klase I i Klase II te bijele i žute boje Klase III (grafikon 1). Ispitano je 259 prometnih znakova Klase I, 24 Klase II i devet Klase III na kojima se nalazi bijela boja. Na 58 prometnih znakova Klase I i 10 Klase II ispitana je retrorefleksija crvene boje. Ispitivanje retrorefleksije plave boje obavljeno je na 223 prometna znaka Klase I i na 25 Klase II. Retrorefleksija žute boje Klase III ispitana je na 12 prometnih znakova.

Kod Klase III ispitivana je žuta boja jer se prometni znakovi K09, K14, K17 i K18, sukladno Pravilniku, izrađuju od retroreflektirajuće folije minimalne retrorefleksije Klase III.



Grafikon 1. Postotak prometnih znakova određene klase i boje na kojima je ispitivana retrorefleksija

6. MODEL DEGRADACIJE RETROREFLEKSIJE PROMETNIH ZNAKOVA

Iz prikupljenih podataka retrorefleksije prometnih znakova u Gradu Zagrebu, cilj je izračunati postotak pada koeficijenta retrorefleksije. Prema tome se određuje klasa koja ima najmanji pad snage retrorefleksije tijekom godina odnosno postavlja se degradacijski model retrorefleksije prometnih znakova.

Podaci koji su prikupljeni u nizu od osam godina se odnose na materijale Klase I, II i III te će se za sve tri Klase i za svaku pojedinu boju postaviti formula na osnovu koje će se moći predvidjeti retrorefleksija novih znakova.

6.1. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase I

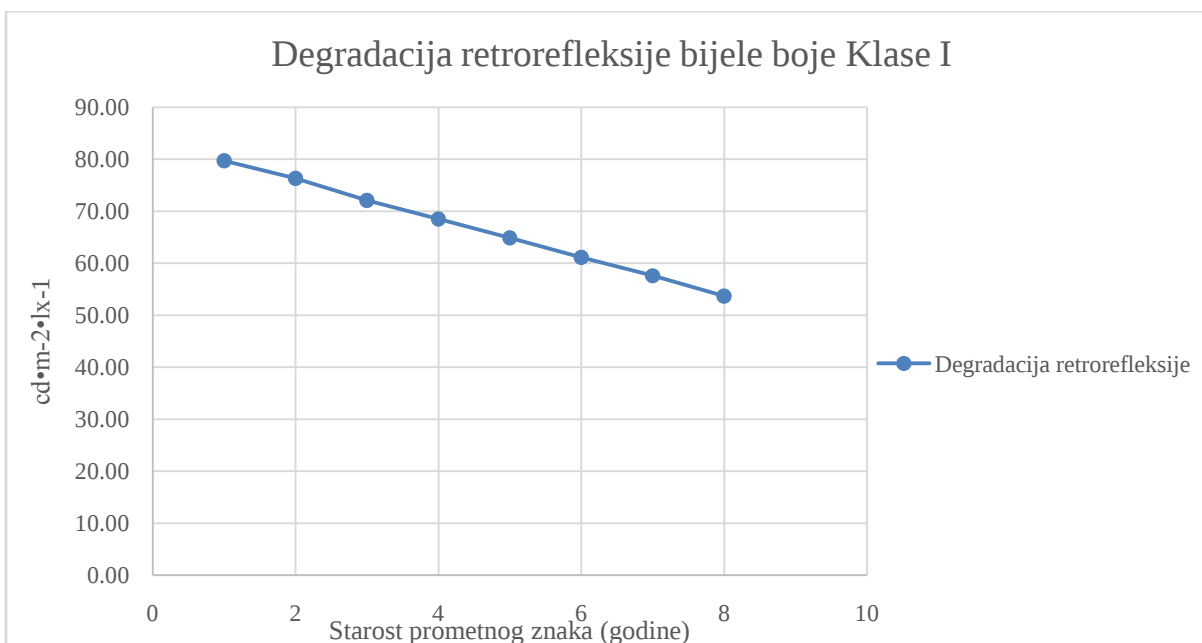
Kod prometnih znakova materijala Klase I ispitana je retrorefleksija:

- a) bijele,
- b) crvene i
- c) plave boje.

Broj ispitanih prometnih znakova na kojima se nalazi bijela boja je 259 te 58 na kojima je crvena. Na 223 prometna znaka ispitana je retrorefleksija plave boje. Koristeći podatke snage retrorefleksije prometnih znakova izračunati su pad retrorefleksije i standardna devijacija.

a) Degradacija retrorefleksije bijele boje

Prosječni pad retrorefleksije bijele boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 32,37% (grafikon 2).



Grafikon 2. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase I

U tablici 5 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 5. Pad retrorefleksije bijele boje Klase I

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-26.02	-32.37%	32.37%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za bijelu boju Klase I izračunata na osnovu prikupljenih podataka iznosi $11,37 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na temelju standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi 0,57.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Gdje su:

O- prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godini

σ_x - standardna devijacija u x-toj godini

σ_p -standardna devijacija u početnoj godini

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Gdje su:

P_p - prosječni pad retrofleksije u jednoj godini

R_{LX} - vrijednost retrorefleksije u x-toj godini

R_{LP} - vrijednost retrorefleksije u početnoj godini

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za bijelu boju Klase I iznosi 5,44%.

Iz dobivene prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrofleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Gdje je:

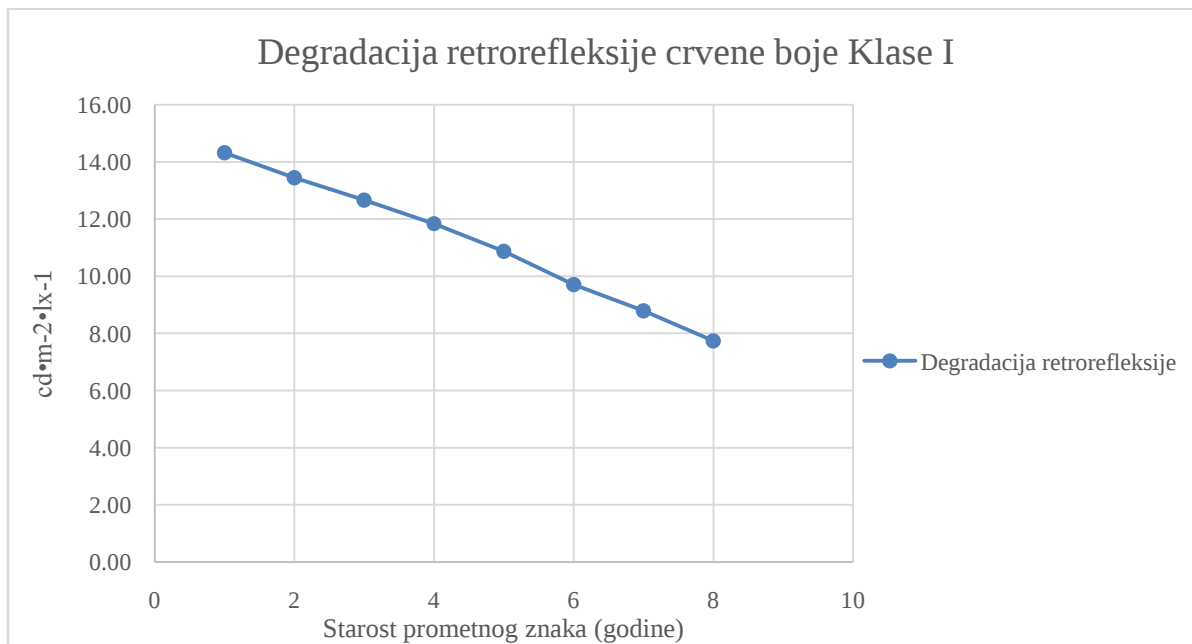
X- starost znaka

Za bijelu boju Klase I konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,44 * X) + 0,57$$

b) Degradacija retrorefleksije crvene boje

U osam godina prosječni pad retrorefleksije crvene boje, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 42,84% (grafikon 3).



Grafikon 3. Degradacija retrorefleksije crvene boje Klase I

U tablici 6 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 6. Pad retrorefleksije crvene boje Klase I

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-6.59	-42.84%	42.84%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za crvenu boju Klase I izračunata iz prikupljenih podataka iznosi $2,92 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -0,36.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Za rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za crvenu boju Klase I iznosi 8,84%.

Koristeći podatke izračunate prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

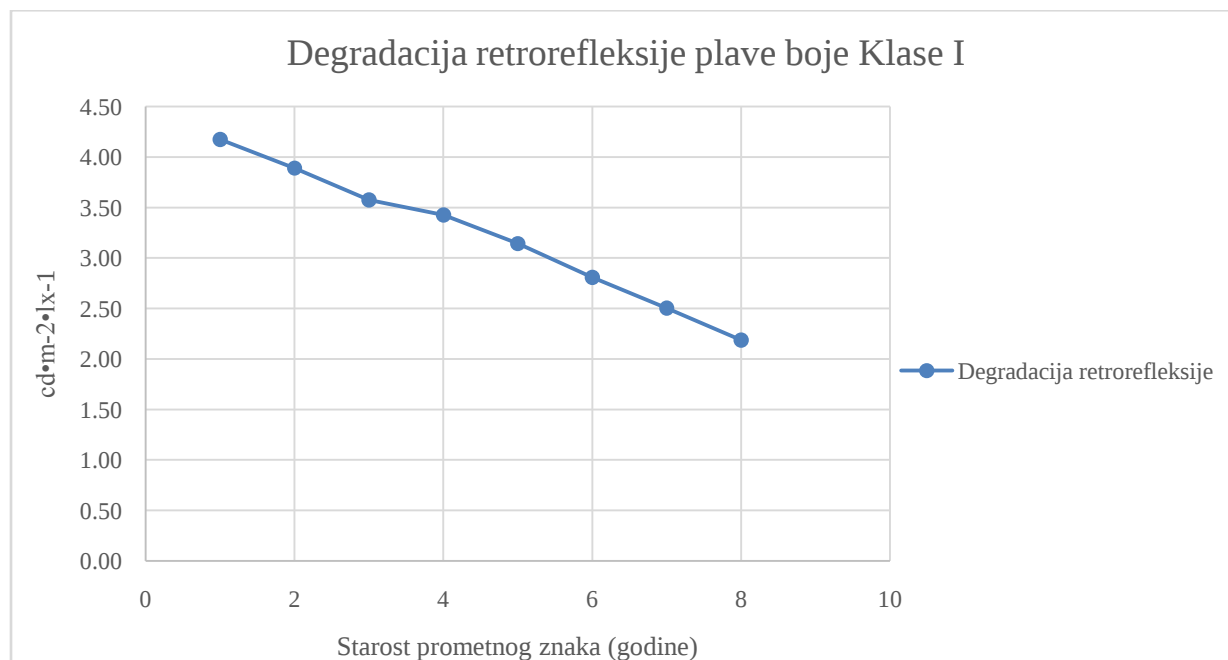
$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za crvenu boju Klase I konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 8,84 * X) - 0,36$$

c) Degradacija retrorefleksije plave boje

Prosječni pad retrorefleksije plave boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 45,29% (grafikon 4).



Grafikon 4. Degradacija retrorefleksije plave boje Klase I

U tablici 7 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 7. Pad retrorefleksije plave boje Klase I

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-1.99	-45.29%	45.29%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za plavu boju Klase I iznosi 0,65 $\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -0,1.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za plavu boju Klase I iznosi 8,58%.

Iz prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrofleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za plavu boju Klase I konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 8,58 * X) - 0,1$$

6.2. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase II

Kod prometnih znakova materijala Klase II ispitana je retrorefleksija:

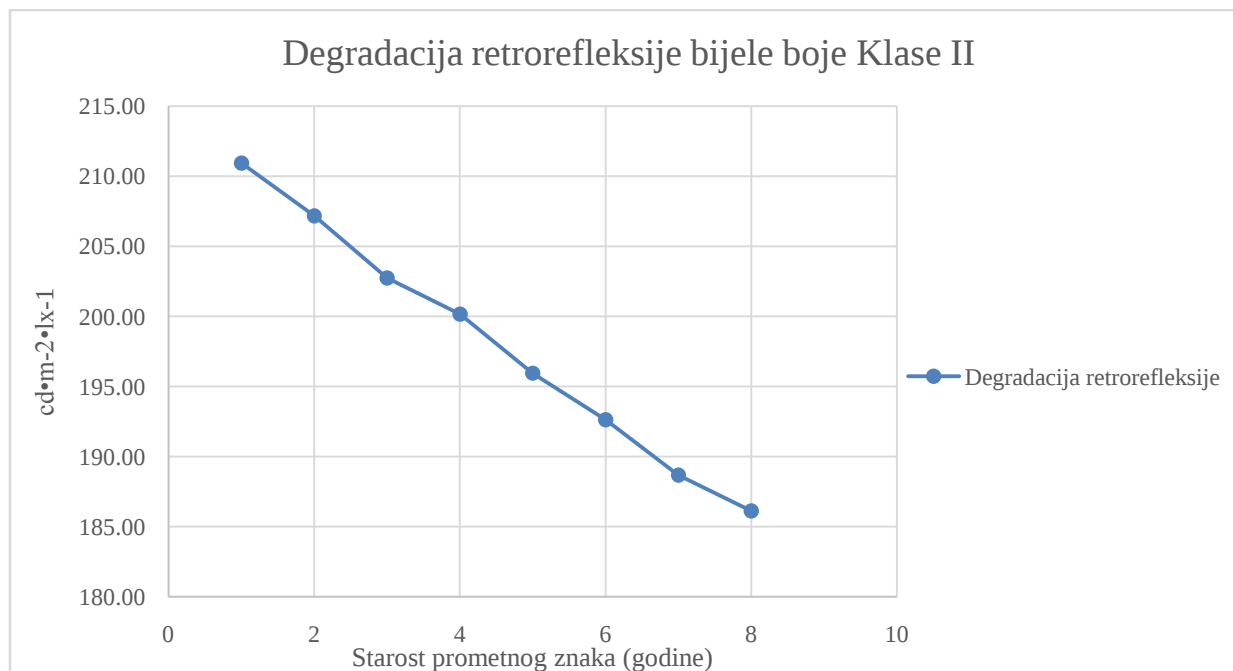
- a) bijele,
- b) crvene i
- c) plave boje.

Broj prometnih znakova na kojima je ispitivana retrorefleksija bijele boje je 24 te 10 na kojima je crvena. Na 25 prometna znaka ispitana je retrorefleksija plave boje. Na osnovu

podataka snage retrorefleksije svih prometnih znakova izračunati su pad retrorefleksije i standardna devijacija.

a) Degradacija retrorefleksije bijele boje

Prosječni pad retrorefleksije bijele boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 11,05% (grafikon 5).



Grafikon 5. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase II

U tablici 8 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 8. Pad retrorefleksije bijele boje Klase II

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-24.82	-11.05%	11.05%

Izvor: Izradila autorica

Za bijelu boju Klase II prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija iznosi $18,37 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -1,43.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računat je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za bijelu boju Klase II iznosi 1,53%.

Iz dobivene prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

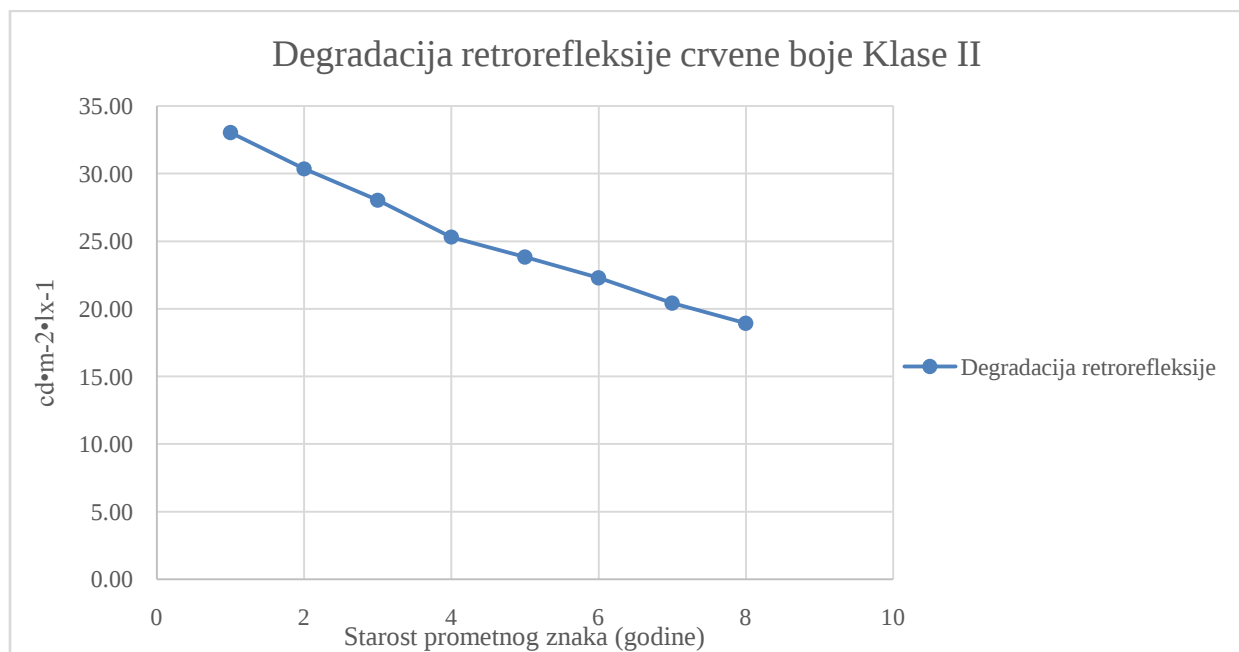
$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za bijelu boju Klase II konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 1,53 * X) - 1,43$$

b) Degradacija retrorefleksije crvene boje

Prosječni pad retrorefleksije crvene boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 43,51% (grafikon 6).



Grafikon 6. Degradacija retrorefleksije crvene boje Klase II

U tablici 9 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 9. Pad retrorefleksije crvene boje Klase II

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-14.10	-43.51%	43.51%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za crvenu boju Klase II izračunata na osnovu prikupljenih podataka iznosi $6,73 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -0,05.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za crvenu boju Klase II iznosi 7,91%.

Iz izračunate prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

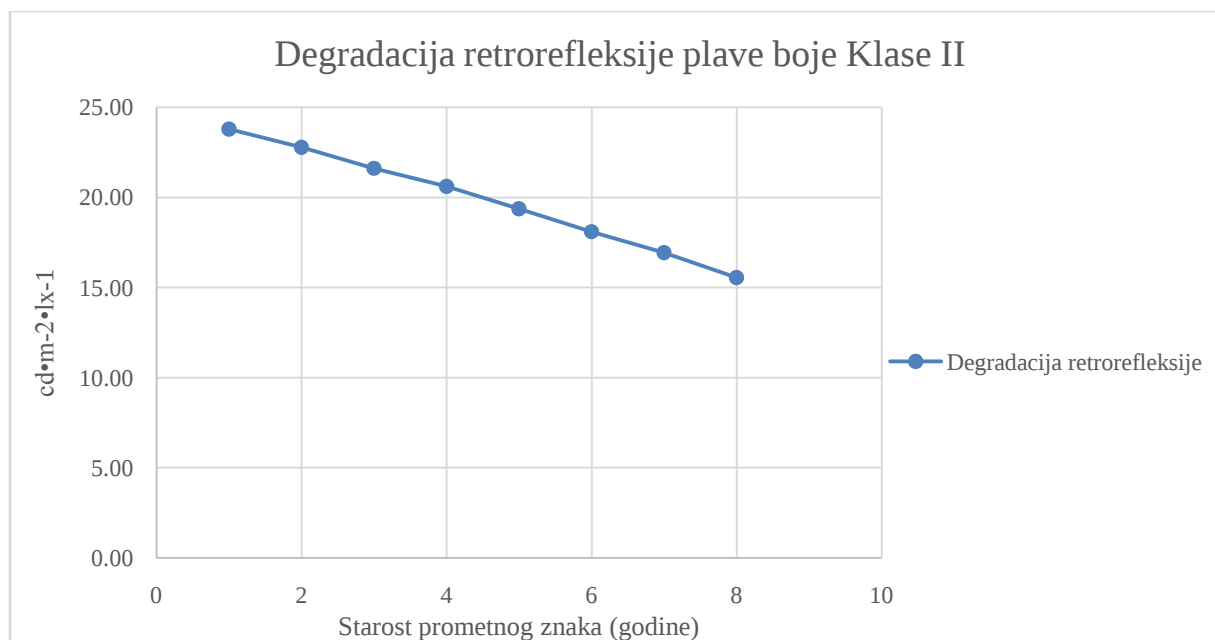
$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za crvenu boju Klase II konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 7,91 * X) - 0,05$$

c) Degradacija retrorefleksije plave boje

Prosječni pad retrorefleksije plave boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 32,32% (grafikon 7).



Grafikon 7. Degradacija retrorefleksije plave boje Klase II

U tablici 10 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 10. Pad retrorefleksije plave boje Klase II

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-8.24	-32.32%	32.32%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za plavu boju Klase II izračunata iz prikupljenih podataka iznosi $4,77 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -0,42.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za plavu boju Klase II iznosi 5,91%.

Preko dobivene prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za plavu boju Klase II konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,91 * X) - 0,42$$

6.3. Model degradacije retrorefleksije prometnih znakova Klase III

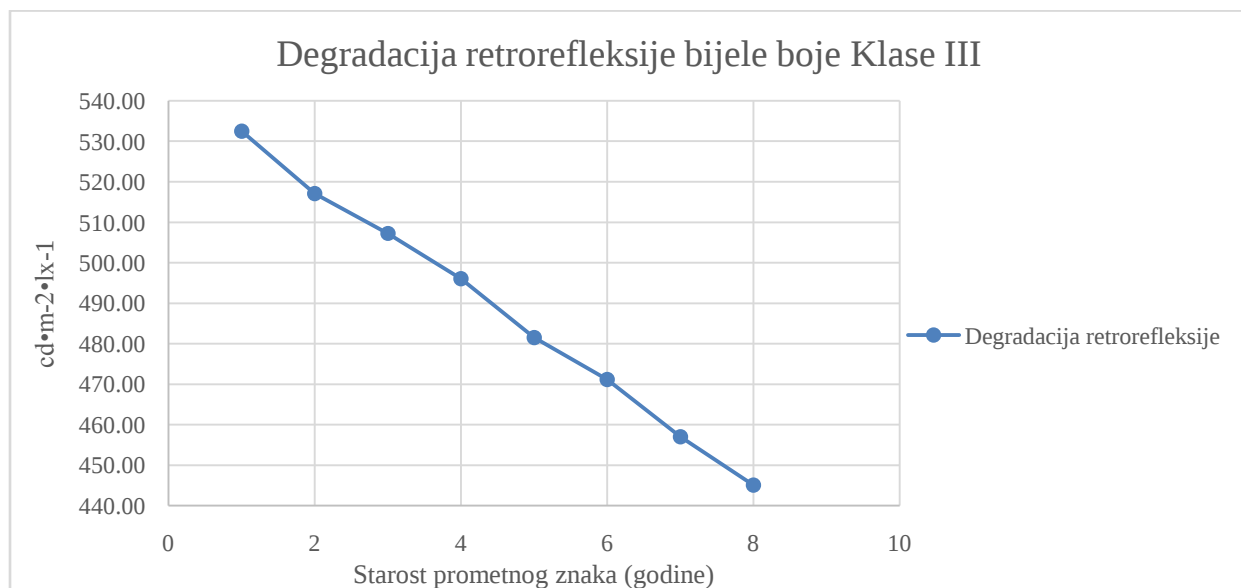
Kod prometnih znakova materijala Klase III ispitana je retrorefleksija:

- a) bijele i
- b) žute boje.

Broj ispitanih prometnih znakova na kojima se nalazi bijela boja je devet te 12 na kojima je žuta. Na osnovu tih podataka izračunati su pad retrorefleksije i standardna devijacija.

a) Degradacija retrorefleksije bijele boje

Prosječni pad retrorefleksije bijele boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 16% (grafikon 8).



Grafikon 8. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase III

U tablici 11 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 11. Pad retrorefleksije bijele boje Klase III

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-87.41	-16.00%	16.00%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za bijelu boju Klase III izračunata na osnovu prikupljenih podataka iznosi $54,46 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Iz standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi -2,93.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za bijelu boju Klase III iznosi 2,47%.

Na temelju izračunate prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrofleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

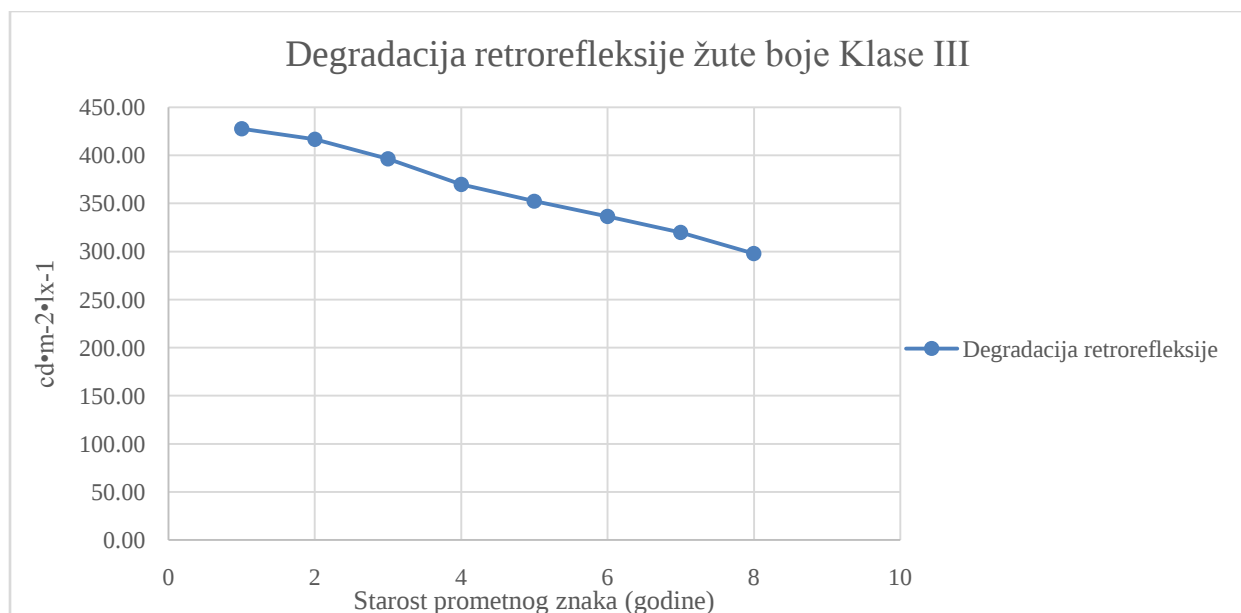
$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za bijelu boju Klase III konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 2,47 * X) - 2,93$$

b) Degradacija retrorefleksije žute boje

Prosječni pad retrorefleksije žute boje u osam godina, koji je izračunat iz prikupljenih podataka, iznosi 30,35% (grafikon 9).



Grafikon 9. Degradacija retrorefleksije žute boje Klase III

U tablici 12 prikazan je pad retrorefleksije u $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ i u postotku te njegova apsolutna vrijednost.

Tablica 12. Pad retrorefleksije žute boje Klase III

ANALIZA		
Pad retrorefleksije ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	Pad retrorefleksije (%)	Apsolutni postotni pad
-129.95	-30.35%	30.35%

Izvor: Izradila autorica

Prosječno srednje odstupanje odnosno standardna devijacija za žutu boju Klase III izračunata iz prikupljenih podataka iznosi $31,74 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Na osnovu standardne devijacije izračunava se prosječna razlika standardnih devijacija u jednoj godina što iznosi 5,29.

$$O = \sigma_X - \sigma_P$$

Prosječni pad retrorefleksije u jednoj godini računan je prema formuli:

$$P_p = (R_{LX} - R_{LP})/R_{LP}$$

Rezultat srednje prosječnog pada retrorefleksije u jednoj godini za žutu boju Klase III iznosi 5,17%.

Na osnovu izračunate prosječne razlike standardnih devijacija u jednoj godini i prosječnog pada retrofleksije u jednoj godini dolazi se do formule za predviđanje retrorefleksije prometnih znakova, koja glasi:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * P_p * X) + O$$

Za žutu boju Klase III konačni model degradacije je:

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,17 * X) + 5,29$$

7. ZAKLJUČAK

U vrijeme ubrzanog ekonomskog razvoja cjelokupnog društva povećava se i potreba ubrzane mobilnosti te je to razlog da se koriste što kvalitetniji prometni znakovi, čija će retrorefleksija s vremenom imati manji pad. To bi omogućilo sigurnije odvijanje prometnog toka, a samim tim i sigurnost čovjeka kao sudionika u prometu.

Vidljivost je osnovni izvor informacija potreban prilikom upravljanja vozilom. Kako u prirodi nema puno retroreflektora, koriste se umjetni retroreflektori. Ti retroreflektirajući materijali se kosite kako bi se na vrijeme omogućilo uočavanje prometnih znakova.

Kod prometnih znakova potrebno je redovito ispitivati snagu retrorefleksije te provoditi njihovo održavanje i mijenjanje kako bi se omogućila što bolja sigurnost.

Prema istraživanjima Research Group Oregon Department of Transportation i analizi koja je provedena u ovom radu na osnovu podataka koji su prikupljeni od strane Zavoda za prometnu signalizaciju u Zagrebu dolazi se do istog saznanja da materijali Klase I imaju najveći pad retrorefleksije u odnosu na Klasu II i Klasu III (na primjer za bijelu boju Klase II pad je 11,05%, kod Klase III je 16%, dok kod Klase I iznosi čak 32,37%).

Razlika prosječnog pada retrorefleksije za jednu godinu bijele boje između Klase I i III je 2,97% iz čega je vidljivo da Klasa III ima manji pad. Kod crvene boje razlika prosječnog pada retrorefleksije za jednu godinu između Klase I i II je 0,93%. Prosječni pad retrorefleksije plave boje Klase I iznosi 8,58%, a kod Klase II 5,91% odakle se može zaključiti da Klasa II ima manji pad. Iz navedenih podataka vidljivo je da najbolja retroreflektirajuća svojstva imaju materijali Klase II i III koje u izradi koriste mikropризме.

Dobiveni model degradacije retrorefleksije prometnih znakova:

- a) Za bijelu boju Klase I

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,44 * X) + 0,57$$

- b) Za crvenu boju Klase I

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 8,84 * X) - 0,36$$

- c) Za plavu boju Klase I

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 8,58 * X) - 0,1$$

- d) Za bijelu boju Klase II

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 1,53 * X) - 1,43$$

- e) Za crvenu boju Klase II

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 7,91 * X) - 0,05$$

f) Za plavu boju Klase II

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,91 * X) - 0,42$$

g) Za bijelu boju Klase III

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 2,47 * X) - 2,93$$

h) Za žutu boju Klase III

$$R_{LX} = R_{LP} - (R_{LP} * 5,17 * X) + 5,29$$

Prikazani modeli degradacije omogućuju predviđanje retrorefleksije prometnih znakova u nekoj godini te se na temelju njih može planirati zamjena prometnih znakova. Primjenom navedenih modela mogao bi se optimizirati sustav održavanja te definirati periodi ispitivanja. Optimizacijom sustava održavanja omogućilo bi s jedne strane povećanje kvalitete prometne signalizacije, a time i sigurnosti prometa te s druge optimiziranje ukupnih troškova održavanja. Navedene modele je prije praktične uporabe potrebno detaljno testirati kako bi se ustvrdio stupanj njihove pogreške.

Literatura

- [1] *Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama* (NN 33/05, 64/05, 155/05, 14/11)
- [2] King, A. Advances in retroreflective technologies for road signage, vehicle visibility and pavement markings, delivering safer roads for all. 3M Traffic Safety Systems Division
- [3] http://www.prometna-zona.com/prometni_znakovi-001povijest_prometnih_znakova.php (travanj 2015.)
- [4] <http://www.bregsforum.com/2015/02/24/si-9-the-red-flag-act-for-construction>(travanj 2015.)
- [5] <http://www.autoskola.com.hr/ucilica-prometni-znakovi-ob2.shtml> (travanj 2015.)
- [6] <http://www.compusign.com.au/Project-M7.htm> (travanj 2015.)
- [7] Ščukanec, A. Nastavni materijali iz kolegija Prometna signalizacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb; ak. god. 2014/2015
- [8] Mlinarević, I., Klarić, S. Standard redovnog održavanja autocesta, Hrvatske autoceste, Zagreb; 2007.
- [9] Wolshon, B., Degeyter, R., Swargam, J. Analysis and Predictive Modeling of Road Sign Retroreflectivity Performance, Biennial Symposium on Visibility and Simulation, Iowa City USA; 2002.
- [10] <http://astro.physics.sc.edu/~rjones/phys153/lec03.html> (travanj 2015.)
- [11] <http://olympusmicro.com/primer/java/reflection/specular/index.html> (travanj 2015.)
- [12] <http://www.atssa.com/Retroreflectivity/WhatisRetroreflectivity.aspx> (travanj 2015.)
- [13] <http://www.neks.si/meritev-koeficienta-retrorefleksije.html> (travanj 2015.)
- [14] <http://www.orafol.com/rs/americas/en/glass-bead-technology> (travanj 2015.)
- [15] <http://www.orafol.com/rs/americas/en/microprismatic-technology> (travanj 2015.)
- [16] Pašagić, S. Vizualne informacije u prometu, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb; 2004.
- [17] Paulusu, S. C. A retroreflective sheeting selection technique for nighttime drivers' needs, Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of, Texas; 2010.
- [18] Kirk, A. R., Hunt, E. A., Brooks, E. W. Factors affecting sign retroreflectivity, Transportation Development Division – Research Group Oregon Department of Transportation, Oregon; 2001.

- [19] <http://www.chemosignal.hr/usluge/3m/prometni-znakovi/> (travanj 2015.)
- [20] EN 12899-1: Fixed, vertical road traffic signs - Part 1: Fixed signs, 2008.
- [21] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=50641> (travanj 2015.)
- [22] Ščukanec, A., Babić, D.: Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, Dani prometnica 2012., Zagreb; 2013.
- [23] <http://www.prometna-signalizacija.com/vertikalna-signalizacija/prometni-znakovi/> (kolovoz 2015.)

Popis slika

Slika 1. Zakon crvene zastave.....	5
Slika 2. Znakovi opasnosti.....	11
Slika 3. Znakovi izričitih naredbi.....	12
Slika 4. Znakovi obavijesti	13
Slika 5. Znakovi obavijesti za vođenje prometa	14
Slika 6. Dopunske ploče	15
Slika 7. Promjenjivi prometni znakovi	16
Slika 8. Sastavni dijelovi prometnog znaka.....	17
Slika 9. Pravilno postavljanje prometnih znakova.....	19
Slika 10. Zrcalna refleksija	22
Slika 11. Difuzna refleksija.....	22
Slika 12. Retrorefleksija.....	23
Slika 13. Vrste retrorefleksije	23
Slika 14. Sferična retrorefleksija.....	24
Slika 15. Prizmatična retrorefleksija.....	24
Slika 16. Retrorefleksija danju i noću.....	25
Slika 17. Proces percepcije prometnog znaka.....	26
Slika 18. Folije Klase I.....	27
Slika 19. Materijal Klase I	28
Slika 20. Folije Klase II	28
Slika 21. Materijal Klase II.....	29
Slika 22. Diamond Grade folija	29
Slika 23. Materijal Klase III.....	30
Slika 24. Ispitivanje koeficijenta retrorefleksije pod određenim kutom gledanja i ulaznim kutom svjetla	31
Slika 25. Ispitivanje retrorefleksije prometnog znaka pomoću uređaja Zehntner ZRS 6060	35

Popis tablica

Tablica 1. Veličina prometnog znaka prema kategoriji prometnice	9
Tablica 2. Koeficijent retrorefleksije RL: Klase I jedinice $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	32
Tablica 3. Koeficijent retrorefleksije RL: Klase II jedinice $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	33
Tablica 4. Koeficijent retrorefleksije RL: Klase III jedinice $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	33
Tablica 5. Pad retrorefleksije bijele boje Klase I	38
Tablica 6. Pad retrorefleksije crvene boje Klase I	40
Tablica 7. Pad retrorefleksije plave boje Klase I	42
Tablica 8. Pad retrorefleksije bijele boje Klase II.....	43
Tablica 9. Pad retrorefleksije crvene boje Klase II.....	45

Tablica 10. Pad retrorefleksije plave boje Klase II.....	46
Tablica 11. Pad retrorefleksije bijele boje Klase III	48
Tablica 12. Pad retrorefleksije žute boje Klase III	49

Popis grafikona

Grafikon 1. Postotak prometnih znakova određene klase i boje na kojima je ispitivana retrorefleksija	36
Grafikon 2. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase I	38
Grafikon 3. Degradacija retrorefleksije crvene boje Klase I	40
Grafikon 4. Degradacija retrorefleksije plave boje Klase I	41
Grafikon 5. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase II.....	43
Grafikon 6. Degradacija retrorefleksije crvene boje Klase II.....	44
Grafikon 7. Degradacija retrorefleksije plave boje Klase II	46
Grafikon 8. Degradacija retrorefleksije bijele boje Klase III	47
Grafikon 9. Degradacija retrorefleksije žute boje Klase III.....	49