

Primjena retroreflektirajućih materijala u prometu

Kuljak, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:119:500992>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dominik Kuljak

**PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH
MATERIJALA U PROMETU**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, srpanj 2023.

Zagreb, 22. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za prometnu signalizaciju**
Predmet: **Vizualne informacije u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7171

Pristupnik: **Dominik Kuljak (0135258732)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Primjena retroreflektirajućih materijala u prometu**

Opis zadatka:

Sudionici u prometnu više od 90 % informacija prikupljaju putem osjetila vida. Za sigurno je odvijanje prometa veoma važno osigurati dobru vidljivost okoline u svim uvjetima. U dnevnim je uvjetima, zbog dobre prirodne osvjetljenosti, prikupljanje informacija iz okoline olakšano. Problem vidljivosti nastaje u noćnim i drugim otežanim uvjetima kada ljudsko oko ne može prikupiti dovoljno kvalitetnih informacija iz okoline, što uzrokuje značajno smanjenje sigurnosti prometa. Zbog toga su se u proizvodnji prometne signalizacije počeli primjenjivati retroreflektirajući elementi. Retrorefleksija je sposobnost ulazne zrake svjetlosti da se reflektira od određenu površinu i vraća nazad u smjeru izvora, a navedeno svojstvo retrorefleksije omogućuje dobru vidljivost materijala u koje su ugrađeni retroreflektirajući elementi i uz uporabu umjetnih izvora svjetlosti koji su ugrađeni na vozilima.

S obzirom na to da su retroreflektirajući materijali neizostavan dio prometne signalizacije, u ovome će se radu definirati vrste retroreflektirajućih materijala za izradu prometnih znakova, oznaka na kolniku, ali isto tako i prometne opreme cesta i oznaka za vozila, načini primjene retroreflektirajućih materijala te razlozi i prednosti primjene istih.

Mentor:



doc. dr. sc. Dario Babić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH
MATERIJALA U PROMETU
APPLICATION OF RETROREFLECTIVE
MATERIALS IN TRAFFIC**

Mentor: doc. dr. sc. Dario Babić

Student: Dominik Kuljak

JMBAG: 0135258732

Zagreb, srpanj 2023.

SAŽETAK

Potrebna doza sigurnosti u prometu ostvaruje se dobrom vidljivošću prometne signalizacije. Zbog dovoljne razine osvjetljenosti, prilikom dnevnih uvjeta olakšano je prikupljanje informacija iz prometa, no tijekom noći i uvjeta otežane vidljivosti povećava se vjerojatnost pojave neželjenih situacija. U tom slučaju, u izradi prometne signalizacije, označavanju ljudi i vozila počeli su se primjenjivati retroreflektirajući materijali. Retroreflektirajući elementi posjeduju sposobnost reflektiranja ulaznog snopa svjetlosti od određene površine u približno istom smjeru unatrag prema izvoru, npr. obasjavanje površine prometnog znaka svjetlima vozila te se zatim svjetlost, zbog prisutnosti staklenih kuglica ili mikroprizmi vraća prema izvoru, odnosno prema vozaču. Samim time, s aspekta sigurnosti, postiže se njihova temeljna zadaća i funkcija u prometu, odnosno da je uočljivost i vidljivost što učinkovitija u svim vremenskim uvjetima.

Ključne riječi: sigurnost u prometu; vidljivost; retroreflektirajući materijali

SUMMARY

The necessary level of safety in traffic is achieved by good visibility of uniform traffic control devices. Due to the sufficient level of lighting, it is easier to collect information from the environment during daytime conditions, however during the night-time and low visibility conditions the probability of the occurrence of unwanted situations increases. In such circumstances, retroreflective materials are used in the production of uniform traffic control devices as well as for marking people and vehicles. Retroreflective elements have the ability to reflect the incoming beam of light from a certain surface in approximately the same direction back towards the source, for example the illumination of the surface of a road sign by vehicle lights, and then the light, due to the presence of glass balls or microprisms, returns to the source, i.e. driver. This alone, from the aspect of safety, achieves their basic task and function in traffic, i.e. that visibility and visibility become effective in all weather conditions.

Keywords: traffic safety, visibility, retroreflective materials

Sadržaj

1. UVOD	1
2. VRSTE REFLEKSIJA U PRIRODI	2
3. PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH MATERIJALA U PROMETNOJ SIGNALIZACIJI.....	5
3.1. Retroreflektirajući materijali za izradu prometnih znakova	5
3.2. Karakteristike retroreflektirajućih materijala za izradu prometnih znakova	11
3.3. Retroreflektirajući materijali za izradu oznaka na kolniku	16
3.3. Retroreflektirajuća prometna oprema	22
4. PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH MATERIJALA ZA OZNAČAVANJE LJUDI I VOZILA.....	25
4.1. Retroreflektirajući materijali za označavanje ljudi	25
4.2. Označavanje vozila	27
4.2.1. Obilježavanje teških i dugih vozila	28
4.2.2. Dokumentacija homologacijske ploče	29
4.2.3. Načini označavanja vozila.....	30
5. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA.....	35
POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFOVA	38

1. UVOD

Sudionici u prometu u najvećoj mjeri dobivaju informacije putem osjetila vida. Prema tome, upravo primjenom retroreflektirajućih materijala u prometu nastoji se poboljšati vidljivost signalizacije, vozila, ali i ljudi. Primarno, takvi se materijali koriste za izradu prometnih znakova i oznaka na kolniku, zbog čega se postiže njihova bolja vidljivost u uvjetima smanjene vidljivosti, a naročito noću. Osim toga, retroreflektirajući materijali koriste se i za označavanje vozila i ljudi, kako u prometu, tako i u pojedinim djelatnostima. Kada je riječ o sigurnosti, uočljivost i pravovremeno percipiranje stanja na cesti veoma su važni, ponajviše zbog prevencije nastanka neželjenih situacija, odnosno prometnih nesreća. Da bi se postigla željena vidljivost u prometu, a sve s ciljem povećanja sigurnosti svih sudionika, početkom 20. stoljeća počela je proizvodnja retroreflektirajućih materijala. Prije svega, riječ je o sitnim staklenim kuglicama, koje se koriste i danas, no ovisno o području primjene, danas se uz staklene kuglice učestalo koriste i mikroprizme. Kako bi općenito prometna situacija, po pitanju sigurnosti svih sudionika, bila na još većoj razini, neophodno je neprestano ulagati u sam razvoj kvalitetnijih i dugotrajnijih materijala. Da bi do toga došlo, potrebno je sagledati trenutnu situaciju i utvrditi potencijalne nedostatke, što je ujedno i cilj ovog završnog rada.

Završni rad sastoji se od pet glavnih poglavlja uz dodatna potpoglavlja, koja se na njih vežu. Na samom početku, kao uvod u temu rada, prikazane su osnovne vrste refleksija u prirodi koje su neizmjerljivo važne upravo zbog lakše percepcije objekata u okolini.

Kako bi se to vidjelo na konkretnom primjeru, u drugom odlomku pojašnjena je primjena retroreflektirajućih materijala u prometnoj signalizaciji s naglaskom na same materijale koji u svemu tome imaju glavnu ulogu. Oni se dijele na materijale za izradu prometnih znakova (koji su podijeljeni prema klasama) i oznaka na kolniku.

Četvrto poglavlje odnosi se na primjenu retroreflektirajućih materijala za oznaku ljudi i vozila. Kako bi se preventivno djelovalo po pitanju smanjenja nesreća, veoma je važno razumijevanje i primjenjivanje adekvatnog označavanja i ponašanja u prometu.

Na temelju svih tih poglavlja i potpoglavlja, u zadnjem dijelu rada istaknuta su glavna mišljenja i zaključci, uz potencijalna rješenja kako cjelokupnu situaciju u budućnosti poboljšati.

2. VRSTE REFLEKSIJA U PRIRODI

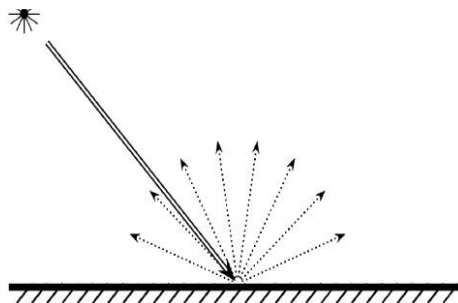
Kao što je spomenuto i u uvodnom dijelu rada, s aspekta sigurnosti, osjetilo vida smatra se jednim od najvažnijih parametara u prometu. Samim time, čak 90 % informacija o sudionicima u prometu i objektima čovjek dobiva pomoću vidnih spoznaja. S toga, prometna signalizacija mora imati izuzetno dobra reflektirajuća svojstva kako bi na uspješan način ispunila svoju osnovnu zadaću, odnosno funkciju, a to je dobra vidljivost u svim vremenskim uvjetima, posebice noćnim i uvjetima slabije vidljivosti. Upravo uočljivost pojedinih elemenata danju ili noću ovisi o načinu emitiranja njegove svjetlosti, u usporedbi s jačinom svjetla kojim zrači njegova okolina.

Za stvaranje refleksije potreban je izvor svjetlosti te površina koja će odbijati zrake u povratnom smjeru. Slijedom toga, refleksija nastaje prilikom odbijanja zraka svjetlosti od određene plohe te se, s obzirom na samu vrstu plohe, svjetlost reflektira u jednom ili više smjerova. Reflektirani snop svjetlosti u većini slučajeva poprima manje vrijednosti jačine u odnosu na izvorni snop svjetla. Razlog tome je gubitak energije upadnog svjetlosnog snopa koji je prisutan gotovo uvijek.

U prirodi se javljaju tri osnovna oblika refleksije, a to su: difuzna, zrcalna i retrorefleksija.

a) *Difuzna refleksija*

Difuzna refleksija je pojava kod koje se svjetlost prilikom „udara“ u neravnu površinu širi u raznim smjerovima, bez obzira na kut upadne svjetlosti. Zbog raznolikog širenja snopova svjetla tek mali dio svjetlosti vraća se prema izvoru, što je ujedno i prikazano na slici 1. Samim time, zbog smanjenog postotka svjetlosti koji se reflektira nazad prema izvoru, njena je vidljivost u noćnim uvjetima veoma mala pa se zbog toga i naziva dnevnom vidljivošću.

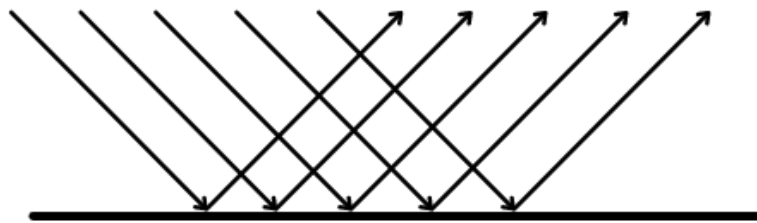


Slika 1. Difuzna refleksija

Izvor: [1]

b) Zrcalna refleksija

Zrcalna refleksija je refleksija kod koje je kut upadne zrake svjetlosti jednak kutu izlazne, odnosno reflektirane zrake svjetlosti te su zbog toga sve reflektirane zrake paralelne. To bolje možemo vidjeti na slici 2. Za razliku od difuzne refleksije, zrcalna nastaje na glatkim i ravnim površinama, kao što je, primjerice, ogledalo. U prometu je najčešće prisutna uslijed nepovoljnih vremenskih uvjeta, odnosno poledica i kiše. U takvim uvjetima ostavlja negativan osjećaj blještavila prema vozilima koja dolaze iz suprotnog smjera i samim time zasljepljuje vozače. Razlog tome je reflektirani snop svjetla koji se s blagim odmakom usmjerava direktno u oči vozača. Također, vidljivost uslijed noćnih uvjeta je znatno ograničena jer prilikom refleksije zraka u suprotnom smjeru sudionici u prometu ne dobivaju optimalne informacije o okolini u kojoj se nalaze.



Slika 2. Zrcalna refleksija

Izvor: [2]

c) Retrorefleksija

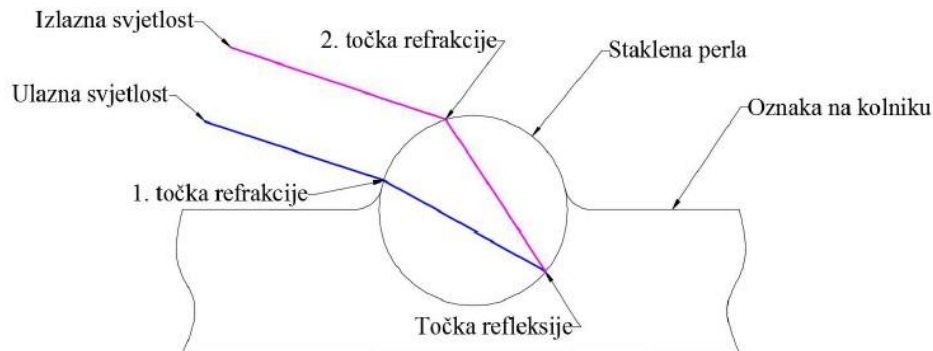
U uvjetima slabe vidljivosti i noću, farovi vozila uglavnom su jedini izvor svjetlosti. Zbog lakše percepcije okoline, reflektirani snop svjetlosti treba se vraćati u istom smjeru iz kojeg je i došao, odnosno prema vozaču. Prema tome, kod retrorefleksije, reflektirana svjetlost reflektira se od površine i vraća se prema izvoru, što je prikazano na slici 3. Zbog nedostatka prirodnih retroreflektora, kako bi pojava retrorefleksije bila održana, koriste se umjetni materijali. Sposobnost retrorefleksije omogućava da se svjetlost uvijek vraća prema izvoru, bez obzira na kut upada svjetlosnih zraka. Svakako treba spomenuti da postoje dvije vrste retrorefleksije, koje se temelje na staklenim kuglicama ili mikroprizmama s ciljem reflektiranja svjetla [3]. Riječ je o sferičnoj i prizmatičnoj retrorefleksiji.



Slika 3. Retrorefleksija

Izvor: [4]

Kod sferične retrorefleksije dolazi do loma ulazne zrake na prednjoj strani staklene kuglice. Svjetlost se reflektira o zrcalnu površinu na stražnjoj strani staklene kuglice te ponovno prolazi kroz prednju površinu staklene kuglice. Tu dolazi do loma svjetlosti i vraćanja u smjeru izvora. Sferična retrorefleksija prikazana je slikom 4.

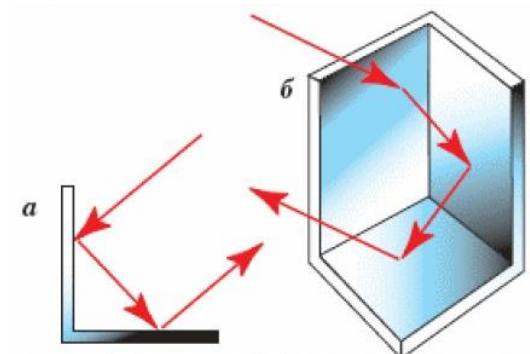


Slika 4. Sferična retrorefleksija

Izvor: [5]

Suprotno tome, kod prizmatične retrorefleksije tri jednake okomite površine čine prizmu na kojoj se ulazni trak svjetlosti reflektira od svih triju ploha, a potom vraća u smjeru izvora usporedno s ulaznim svjetlom [6].

Prizmatični reflektori su optički daleko bolji od sferičnih reflektora i posjeduju iznimno visok koeficijent retrorefleksije. U odnosu na sferičnu retrorefleksiju, kod prizmatične retrorefleksije lom svjetla nije prisutan, pri čemu su gubitci svjetlosti puno manji. Model idealne prizmatične refleksije, kakav je prikazan slikom 3, u prometu ne postoji. Razlog tome je taj što nije cilj da se reflektirana svjetlost vraća prema farovima, već prema oku vozača. Dakle, u prometu je neophodno prisustvo odstupanja kod retroreflektirajućih materijala kako bi se svjetlost usmjerila ka vozaču, kao što je prikazano na slici 5. Samim time dobiva se pozornija slika koja šalje obavijesti o potencijalnim opasnostima okoline u kojoj se nalazi.



Slika 5. Prizmatična retrorefleksija

Izvor: [6]

3. PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH MATERIJALA U PROMETNOJ SIGNALIZACIJI

Jedna od glavnih zadaća vozača u prometu je da svojim odlukama ne ugroze ostale sudionike u prometu. Da bi se to prevelo u djelo, važno je da vozač na pravilan i pravovremen način prima podražaje iz okoline u kojoj se nalazi, posebice od strane prometne signalizacije. Samim time, za izradu prometnih znakova i oznaka na kolniku koriste se retroreflektirajući materijali koji povećavaju njihovu vidljivost. U dnevnim uvjetima vidljivost prometne signalizacije je poprilično zadovoljavajuća, no problemi se javljaju uslijed noćnih uvjeta te uvjeta smanjenje vidljivosti. Stoga je primjena kvalitetnih materijala veoma bitna kako bi se na vrijeme uočile moguće opasnosti na prometnicama.

3.1. Retroreflektirajući materijali za izradu prometnih znakova

Osnovna obilježja retroreflektirajućih materijala ovise o elementima koji su sastavni dio njihove strukture. Stoga, kod izrade prometnih znakova neophodna je prisutnost staklenih kuglica (ujedno i retroreflektirajućeg sloja) te mikroprizmi, čija funkcija je reflektiranje zraka svjetlosti. Općenito, vidljivost prometne signalizacije varira u dnevnim i noćnim uvjetima, kao što je prikazano na slici 6. Razlog tome je prirodna svjetlost danju koja pridonosi lakšoj preglednosti okoline, pa je samim time vidljivost prometnih znakova poprilično velika, ne uzimajući pritom doista u obzir retroreflektirajuća svojstva. Ipak, u uvjetima smanjene vidljivosti te noćnim uvjetima kada je svijetlost okoline značajno manja vidljivost prometnih znakova ovisi o retroreflektirajućim svojstvima.



Slika 6. Kvaliteta retrorefleksije pojedinih znakova

Izvor: [6]

Za očuvanje sigurnosti tijekom vožnje neophodna je pravodobna percepcija prometnog znaka kako bi vozač mogao reagirati na vrijeme i u skladu sa značenjem prometnog znaka [7]. Na percepciju prilikom vožnje utječe niz čimbenika. Od samog iskustva vozača do raznih

emocionalnih stanja kroz koje on prolazi. Također, brzina i djelotvornost opijata (alkohol i razna druga sredstva) itekako loše utječu na sposobnosti sudionika u prometu prilikom uočavanja prometne signalizacije. Percipiranje prometnog znaka tijekom vožnje traje svega sekundu do dvije. Stoga, postoje tri faze prilikom percipiranja prometnih znakova.

Prva faza odnosi se na uočavanje znaka te predstavlja detektiranje i registriranje najmanje površine znaka koju ljudsko oko može zamijetiti uslijed doticaja s vanjskim svijetom. Potom slijedi prepoznavanje, kod kojeg se može iščitati više detalja u odnosu na prvu fazu. Pod time se misli na razlučivanje prometnih znakova po njihovom obliku i boji te kao rezultat iz toga proizlazi i raspoznavanje vrste znaka no ne i samog simbola na znake, odnosno točnog značenja prometnog znaka. Posljednja i ujedno najvažnija faza percipiranja prometne signalizacije je čitanje. Najznačajnija stavka je da vozač uspije raspoznati poruku koju mu određeni znak želi prenijeti. Samim time, ta je faza i najkompliciranija jer do izražaja dolaze niz bitnih stvari, kao što su međusobni raspored i kontrast između podloge, simbola i slova, oblik, veličina slova i simbola. Vozač koji prilazi nekom prometnom znaku trebao bi bez smanjenja brzine kretanja, prepoznati informaciju, prije nego ju je u stanju pročitati, a zatim shvatiti, s povjerenjem prihvatiti i na kraju imati dovoljno vremena reagirati [3].

Tridesetih godina prošlog stoljeća, američka kompanija Potters počela je s proizvodnjom sitnih staklenih kuglica, veličine djelića milimetra. Prvotno su bile korištene na platnima kinosvorana jer su doprinosile svjetlini slike. Kako bi se taj materijal kasnije počeo upotrebljavati i za reflektiranje prometnih oznaka, koristile su se različite metode. Jedna od njih bila je špricanje kuglica na sloj svježe boje ili ljepila [8]. Zbog čestih vremenskih nepogoda, kuglice su imale problem s očuvanjem refleksije jer su na smanjenje razine refleksije utjecale voda i prašina. Rezultat toga bila je kraća trajnost materijala, što je stvaralo problem. Nakon što se ta metoda pokazala nedovoljno učinkovitom, tvrtka 3M napravila je iskorak zaštitivši kuglice prozirnom folijom, čime se postigla glatka vodootporna staklasta površina.

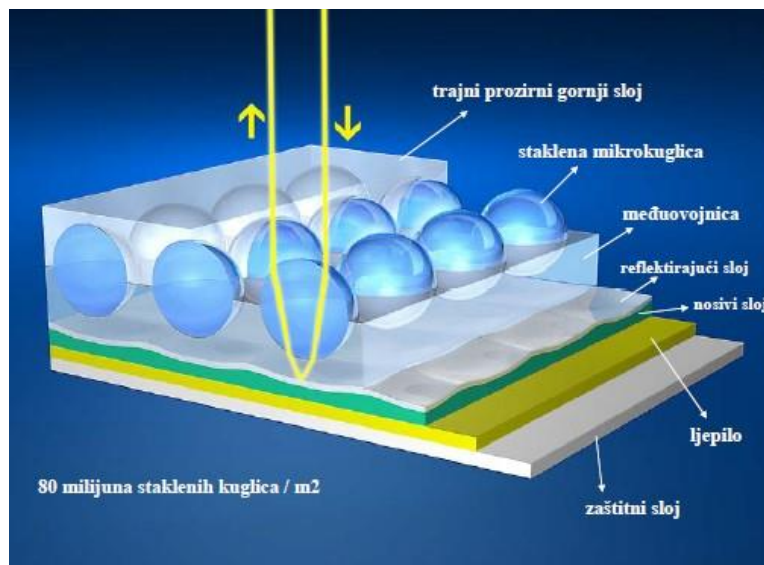
Prve folije koje su imale svojstva reflektivnosti izrađene su 1939. godine te su nazvane Engineering Grade (kasnije kraće nazvan Engineer Grade) te je materijal reflektirao oko 8% svjetlosti [9]. Ujedno s porastom učinkovitosti folija, znakovi su postali uočljiviji pri čemu se povećala i sigurnost prometa. Proizvođači retroreflektirajućih materijala ističu kako su retroreflektirajuće oznake vrlo izdržljive kod svih klimatskih uvjeta te da su otporne na velika trenja prilikom čišćenja. Retroreflektirajući materijali koji se danas koriste imaju uglavnom dugi vijek trajanja. Izgled i kvaliteta razlikuju se ovisno o vrsti namjene cestovnog prometnog sustava i proizvođača [10]. U modernom svijetu postoje tri kategorije retroreflektirajućih materijala koje se koriste [6].

- Materijal klase I – Engineer Grade (zatvorena staklena kugla),
- Materijal klase II – High Intensity Grade (učahurena staklena kugla),
- Materijal klase III – Diamond Grade (prizma).

a) *Materijal klase I – Engineer Grade*

U materijale klase I spadaju retroreflektirajuće folije ili folije prve generacije. One su izrađene od dugoročnog materijala s uvezanim staklenim mikrokuglicama i mikroprizmama. Neizostavan su dio kreiranja prometnih znakova od 1959. godine. Najčešće se upotrebljavaju na mjestima gdje postoji smanjena koncentracija prometa kao i na mjestima s manjim brzinama vožnje. Tanki prozirni gornji sloj sprječava kontakt zraka i atmosferilija sa staklenim mikrokuglicama, štiti od utjecaja sunčevih zraka na smanjenje refleksije i predstavlja dio optičkog sustava materijala. Ispod trajno 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 ljepilom vezan zaštitni sloj koji se otklanja prilikom aplikacije [9]. Staklene mikrokuglice imaju mogućnost apsorpiranja upadne zrake svjetlosti na materijal do 92 % pa uzrokuje stabilnost, odnosno očuvanje retroreflektivnih svojstva. Uslijed toga, samo 8 % ulazne svjetlosti se vraća prema izvoru.

Što se tiče folije, ona je najčešće prisutna na prometnim znakovima koji se nalaze u prometu manje gustoće. Prilikom upotrebe tih folija, dolazi do velikih gubitaka svjetlosti jer se svjetlost lomi najmanje četiri puta te je ujedno takav slučaj prikazan slikom 7.



Slika 7. Struktura materijala klase I

Izvor: [6]

Unatoč daljnjim modifikacijama koje bi smanjile tolike disperzije, nije se došlo do poželjnih rezultata. Samim time, sjaj materijala klase I iznosi $70 \text{ cd} * \text{lx}^{-1} * \text{m}^{-2}$ (bijela boja), a garancija proizvođača iznosi 7 godina. U današnje se vrijeme sve više proizvode folije s mikroprizmama jer reflektiraju upadne zrake na principu prizmatične refleksije. Kvalitetnije su i znakovi koji su njima obloženi su dosta uočljiviji od onih koji sadrže staklene mikrokuglice. Vrijednosti snage retrorefleksije dostižu do $180 \text{ cd} * \text{lx}^{-1} * \text{m}^{-2}$. Mikroprizme su oblikovane u prozirnoj sintetskoj smoli, hermetički zatvorene i s ljepljivom aktivirane na pritisak na poledini, čime se ostvaruje trajno pričvršćivanje na supstrate prometnih znakova [6]. Na slici 8. prikazane su folije materijala klase IS i IP.



Slika 8. Folije klase IS (lijevo) i IP (desno)

Izvor: [11]

b) Materijal klase II – High Intensity Grade

Materijal druge klase koristi folije čiji su sastavni dio ućahurene staklene mikrokuglice koje su tri puta blistavije od najnovijih retroreflektirajućih folija kategorije I. Koriste se još i nazivi poput folija s lećama u kapsuli ili folije druge generacije. Zbog poboljšanja postojećih folija klase I razvijene su folije materijala klase IIS u čijoj strukturi je izostavljena međuovojnica između staklenih kuglica i reflektirajućeg sloja. Promjena u strukturi rezultirala je smanjenim brojem lomova zraka svjetlosti i uzrokovala poboljšanje retroreflektirajućih svojstava. Uzevši u obzir kvalitetu prizmatične retrorefleksije, u današnje vrijeme staklene kuglice zamjenjuju se učinkovitijim mikroprizmama. S aspekta trajnosti, njihove folije garantiraju da će i do 10 godina od početka uporabe zadržavati najmanje 80 % svoje prvobitne sjajnosti.

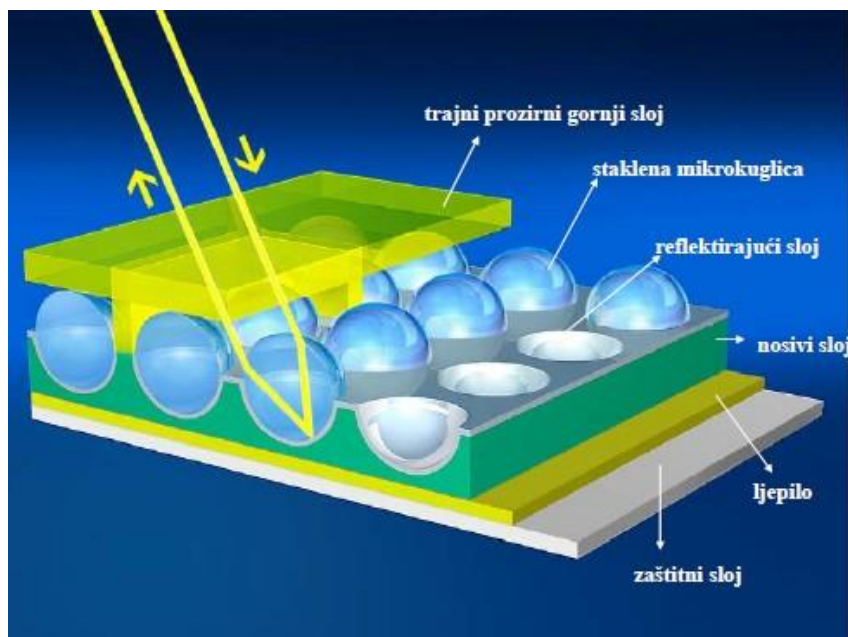
Mikrokuglice se ne ulijevaju u plastiku, nego su nalijepljene na plastični nosivi sloj, a njihov gornji dio nalazi se u zraku napunjenom kapsuli, zatvorenoj tankim prozirnim gornjim slojem [6]. Folije klase II, koje su prikazane na slici 9., omogućavaju proizvodnju znakova koji su izuzetno vidljivi, čak i iz širokog kuta gledanja te u dobro osvijetljenoj okolini. Takvi

prometni znakovi učinkovito upozoravaju vozače na nadolazeće opasnosti na prometnicama. Struktura površine folije je u obliku saća koje čine noseće stranice i osiguravaju zrakoprazni prostor ispod površinskog sloja [11]. Takva struktura prikazana je na slici 10. U odnosu na materijal klase I, broj loma svjetlosti je duplo manji. Sjaj reflektirajućih folija klase II iznosi $250 \text{ cd} * \text{lx}^{-1} * \text{m}^{-2}$ (bijela boja). Samim time, materijali klase II imaju veće vrijednosti retrorefleksije u odnosu na folije koje su izrađene od materijala klase I. 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 poleđini, čime se ostvaruje trajno pričvršćivanje na supstrate prometnih znakova [6]. Novi znakovi klase IIP (folije s mikroprizmama) postižu granične vrijednosti do $700 \text{ cd} * \text{lx}^{-1} * \text{m}^{-2}$. Samim time, imaju jako veliku razinu blistavosti te su poprilično uočljivi. Posebice u noćnim uvjetima kada okolna svjetlost gotovo ni nije prisutna. One se uglavnom nalaze na prometnicama gdje se promet odvija velikim brzinama. Također, folije se primjenjuju na znakove koji vrlo važni s gledišta sigurnosti (stop, pješački prijelaz, cesta s prednošću prolaska, itd.). Njihova uporaba u prometu krenula je početkom 70 – ih godina prošlog stoljeća.



Slika 9. Folije klase IIP (lijevo) i IIS (desno)

Izvor: [12]



Slika 10. Struktura materijala klase II

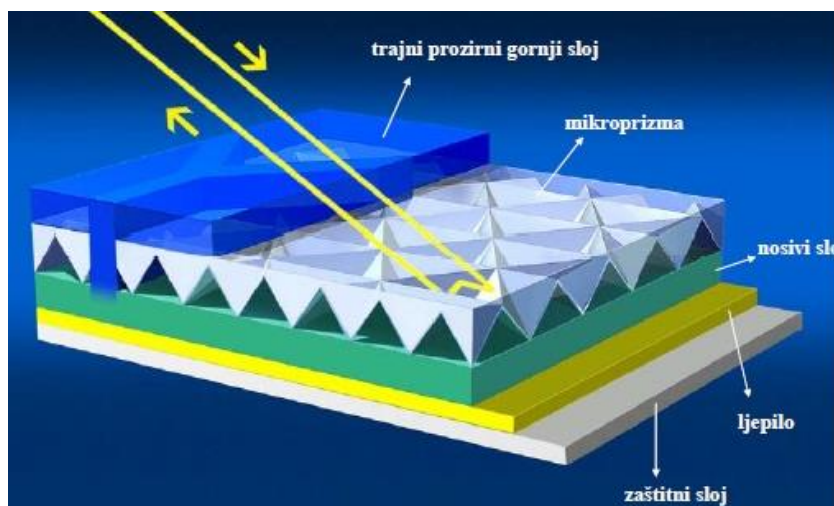
Izvor: [6]

c) Materijal klase III – Diamond Grade

Folije materijala klase III nazivaju se još i folijama treće generacije. Riječ je o folijama čiji je materijal najkvalitetniji od svih drugih. One se koriste kod prometnih znakova koji su od velike sigurnosne važnosti. Izrađena je od veoma djelotvornih mikroprizmi pa, shodno tome, ne posjeduje reflektirajući sloj. Zahvaljujući tome, folije su više nego trostruko sjajnije od folija s ućahrenim staklenim mikrokuglicama i čak deseterostruko blistavije od folija sa zatvorenim staklenim mikrokuglicama [3].

Njegov jedinstveni dizajn "puna kocka" omogućava povrat gotovo 60 posto raspoloživog svjetla, što je dvostruko više nego kod drugih prizmatičnih folija. Zbog svoje specifične strukture (prikazano na slici 11.) materijala sudionicima u prometu pruža bolju vidljivost u svim vremenskim uvjetima, u odnosu na prve dvije vrste folija.

Folije omogućuju iznimnu fleksibilnost u postavljanju znakova jer mogu podnijeti ulazne kutove svjetlosnog traka do 60 stupnjeva. Između svih nabrojanih folija za izradu znakova, ove folije se ističu kao posjednik najsjajnijih reflektirajućih svojstava. Zbog nešto debljeg materijala, postoji mogućnost od stvaranja problema prilikom same proizvodnje. Ovakve folije upotrebljavaju se od 1990. godine. Garancijski rok iznosi dvanaest godina, dok je snaga retrorefleksije otprilike $800 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ [6].



Slika 11. Struktura materijala klase III

Izvor: [6]

Prema 3M – ovoj klasifikaciji, postoji više različitih vrsta reflektirajuće folije klase III [6]:

- V. I. P. (Visual Impact Performance) - ova folija omogućava maksimalnu učinkovitost na kratkim udaljenostima, čineći je idealnim rješenjem za signalizaciju u gradskom prometu. Zahvaljujući izuzetno jakom kontrastu, ova vrsta folije je posebno prikladna za znakove koji se moraju jasno izdvajati iz svjetlosnog okruženja, kao i u složenim prometnim situacijama. Folija je namijenjena za veliku gustoću osvjetljenja na kratkoj udaljenosti [3].
- L. D. P. (Long Distance Performance) – zbog svoje uočljivosti s velikih distanci primjenjuje se na autocestama, magistralnim cestama i brzim cestama. Na tim prometnicama, posebno je važan efikasan prijenos informacija vozačima. Ova folija raspolaže iznimno učinkovitim mikroprizmama koje ulazni trak svjetla vraćaju na veliku udaljenost. S toga se znakovi izrađeni od ovih folija uočavaju i prepoznaju i s velikih udaljenosti [5].
- Fluorescent - Ova folija omogućava povećanu vidljivost, kako noću, tako i tijekom dana, koristeći fluorescentne boje.
- Diamond Grade Cubed (DG³) – povezuje osobine V.I.P. i L.D.P. folija, što je i razlog njezinog korištenja u gradskim uvjetima te na autocestama. Pretpostavlja se kako će ubrzo nadomjestiti V.I.P. i L.D.P. folije.

3.2. Karakteristike retroreflektirajućih materijala za izradu prometnih znakova

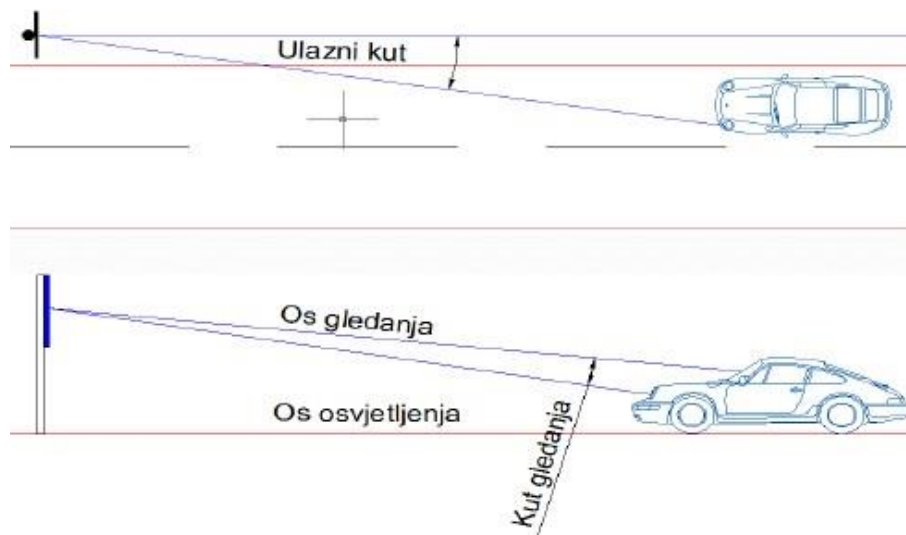
Kao što je navedeno i u prethodnim poglavljima, kako bi se omogućilo kvalitetno uočavanje, prepoznavanje i čitanje prometnih znakova, posebno u noći i u uvjetima smanjene

vidljivosti, za izradu prometne signalizacije, koriste se retroreflektirajući materijali. Osnovna karakteristika reflektirajućih materijala temelji se na svojstvima ugrađenih elemenata, a to mogu biti staklene kuglice ili prizme vrlo malih dimenzija. Staklene kuglice su promjera od 0,01 do 0,1 mm i ima ih oko 80 milijuna na četvornom metru materijala. Takve prozirne kuglice zalivene su tankim, trajnim i zaštitnim prozirnim materijalom koji je debljine od 0,14 do 0,22 mm [7].

Također, retrorefleksija se opisuje na temelju karakteristika kojima se određuje razina kvalitete materijala za izradu prometnih znakova.

to su [6]:

- Ulazni kut – formira se između ulazne zrake svjetlosti i okomite osi usmjerene na ravninu na koju je položen znak (Slika 12. gore). Ova karakteristika je važna za slučajeve kada je znak postavljen visoko iznad ceste, na desnoj bankini ili na lijevoj strani ceste s više kolničkih traka.
- Kut promatranja/gledanja – kut koji nastaje između ulazne i reflektirane svjetlosti (Slika 12. dolje). Kut promatranja bi trebao biti što manji jer kvalitetan retroreflektirajući materijal odbija zrake svjetlost direktno prema izvoru.
- Snop reflektirane svjetlosti – predstavlja svjetlost reflektiranu prema promatraču.

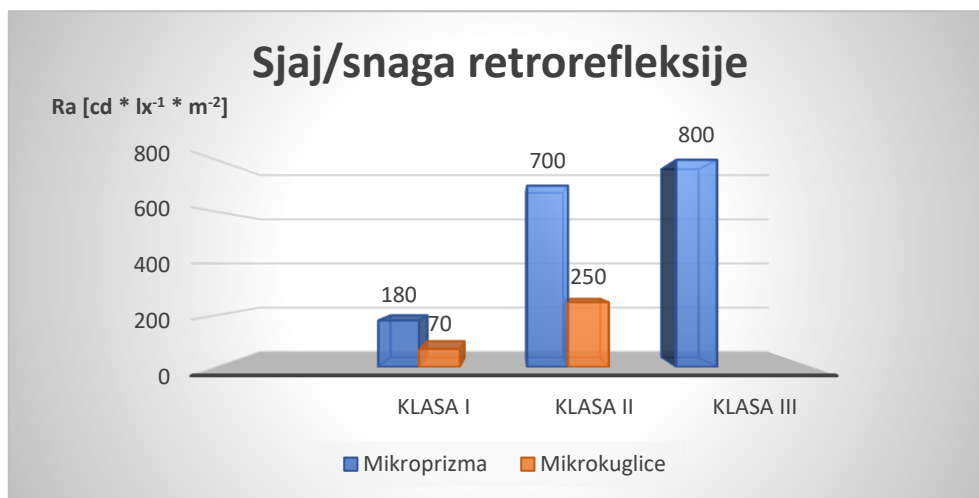


Slika 12. Osnovni kutovi gledanja i ulaza svjetlosti

Izvor: [6]

Karakteristike retroreflektirajućih materijala uspoređuju se na temelju četiri glavna pokazatelja. To je snaga retrorefleksije, odnosno sjaj, kutnost, trajnost te usmjerenost retroreflektirane svjetlosti.

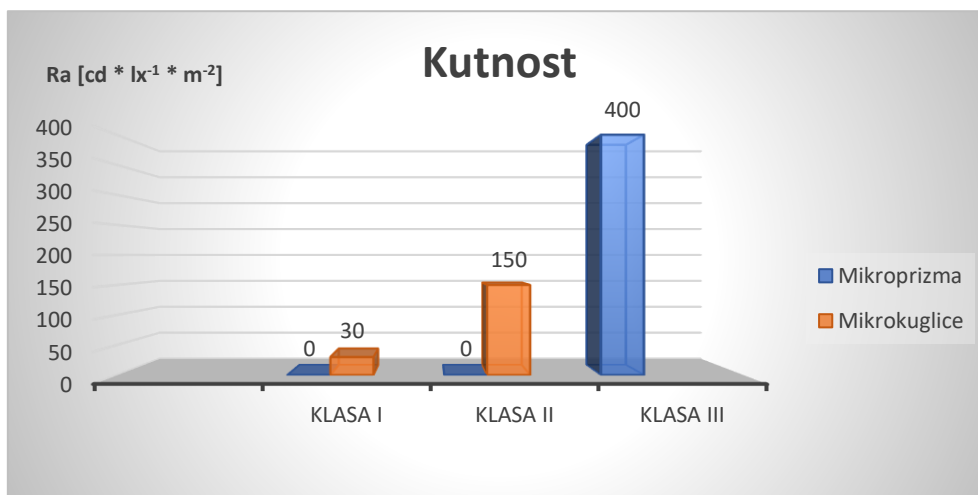
Snaga retrorefleksije je doza svjetla koja se reflektira s retroreflektirajućeg materijala. Propisana je koeficijentom retrorefleksije (RA), koji označava omjer izlazne sjajnosti površine (L) i ulaznog osvjetljenja po toj površini (E) [12]. Mjerna jedinica za sjaj je „candel po luxu po kvadratnom metru“. Svaka boja ima određenu minimalnu snagu retrorefleksije prema međunarodnim normama. Norme se definiraju na temelju različitih ulaznih kutova i kutova gledanja. Primjerice, kod automobila, ulazni kut obično iznosi 5°, dok je kut gledanja 0.33°. Parametri se mijenjaju s promjenom vrste prometnog sredstva. Na grafu 1. prikazan je omjer minimalnih početnih snaga retrorefleksije svih zastupljenih klasa.



Graf 1. Snaga retrorefleksije

Prema podacima iz grafa, prisutne su velike oscilacije među vrijednostima snage retrorefleksije pojedinih klasa. Kod svih klasa, materijali s ugrađenim mikroprizmama pokazali su se učinkovitijima od staklenih mikrokuglica. Najveći debalans vidljiv je između klasa I i II, što znači da je, s aspekta sigurnosti, materijal klase I najmanje uočljiv od strane vozača u prometu. Kako bi se postigla velika razina sigurnosti u prometu, prometni znakovi bi se morali proizvoditi u velikoj mjeri od materijala klase II i III. S ekonomskog gledišta, time bi se povećali troškovi pa samim time sigurnost sudionika u prometu pada u drugi plan.

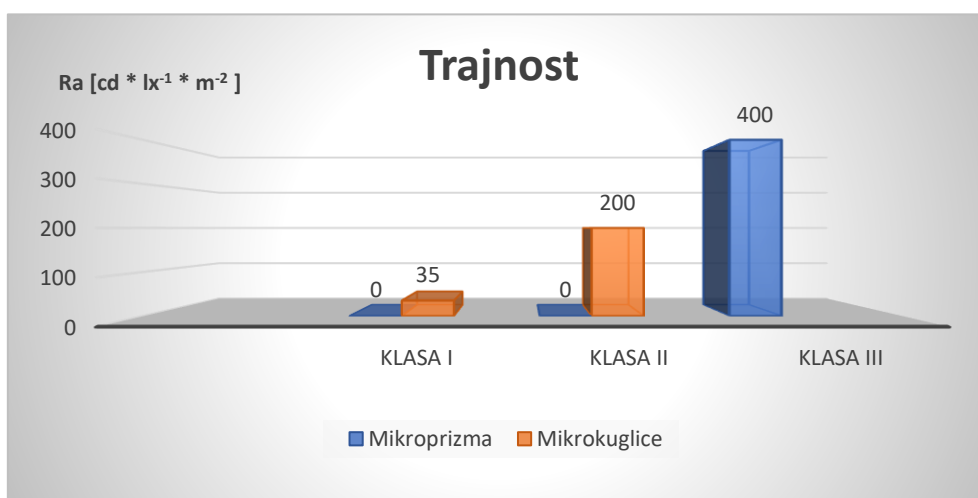
Druga po redu navedenih karakteristika je kutnost. Veoma je bitna značajka jer prilikom povećanja ulaznog kuta i kuta promatranja vozači primaju manje količine svjetlosti. To je najčešće u slučajevima kada se prometni znak nalazi na lijevoj strani ceste ili je udaljen na desnoj bankini. Na grafu 2. prikazane su vrijednosti minimalne početne snage retrorefleksije kod ulaznog kuta svjetlosti od 30 stupnjeva.



Graf 2. Kutnost

Povećanjem ulaznog kuta svjetlosti dolazi do smanjenja snage retrorefleksije u oku vozača. Ako se želi postići optimalan učinak retrorefleksije, ulazni kut svjetlosti trebao bi biti što manji. Samim time, povećanjem kutnosti vidljivost znakova se snižava zajedno s retrorefleksijom. Takav slučaj postoji kod onih znakova koji su previše udaljeni od ruba kolnika ili se nalaze na suprotnoj strani ceste. Uostalom, sjaj znakova klase III je još uvijek značajno velik, s toga, promjena kutnosti ne bi drastično utjecala na njihovu smanjenu vidljivost.

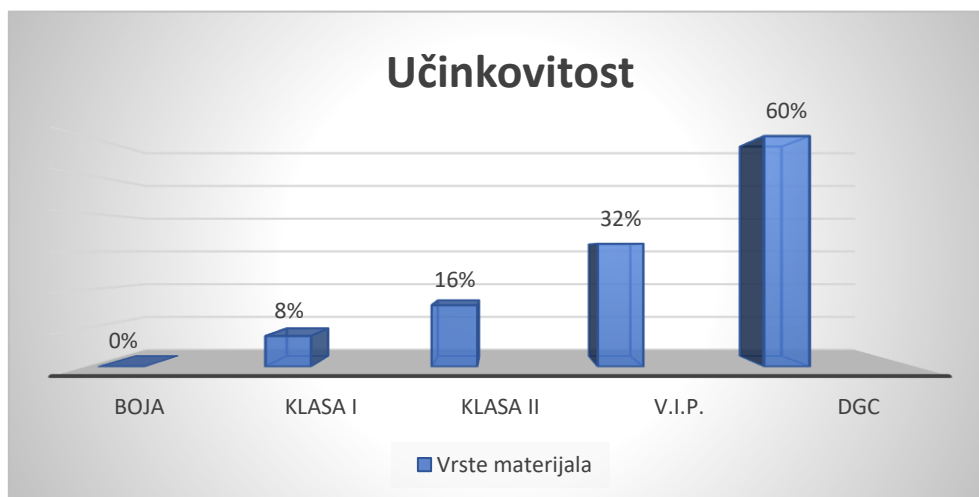
Potom slijedi i trajnost, koja određuje vrijednost kvalitete refleksije kroz određen broj godina, točnije period u kojem će materijal poprimiti minimalne dopuštene vrijednosti. Materijali čiji je „životni“ vijek dulji, a da pri tome vrijednosti retrorefleksije budu na značajnoj razini. U mnogim slučajevima su skuplji, ali i kvalitetniji pa samim time upotreba takvih materijala je zasigurno profitabilna na duže staze. Vozačima će biti uočljivi te će time promet zasigurno biti sigurniji. Na grafu 3. prikazan je sjaj materijala nakon jamstvenog vijeka trajanja.



Graf 3. Trajnost

Podaci na grafu upućuju na promjene snage retrorefleksije za vrijeme garancijskog perioda. Premda trajnost znakova ovisi o mnogo čimbenika, ovakvi podaci ne mogu se potvrditi sa sigurnošću. Premda vremenski uvjeti iz godine u godinu variraju, materijal se može potrošiti u većoj mjeri. Najbolje stanje se primjećuje kod znakova klase II jer prikazuje najmanji pad retrorefleksije nakon godina uporabe. U odnosu na materijale klase I i III, čije su vrijednosti pale za dvostruko od početne predviđene, može se zaključiti da High Intensity Grade znakovi imaju najveću otpornost. Omjerom kvalitete sjaja i trajnosti, zasigurno su isplativiji za primjenu u odnosu na prethodno navedene.

Posljednja karakteristika je usmjerenost retroreflektirane svjetlosti koja definira koliko će se svjetlosti vratiti prema izvoru. Na grafu 4. prikazan je postotak vraćene svjetlosti prema izvoru, odnosno vozaču, na osnovi različitih materijala.

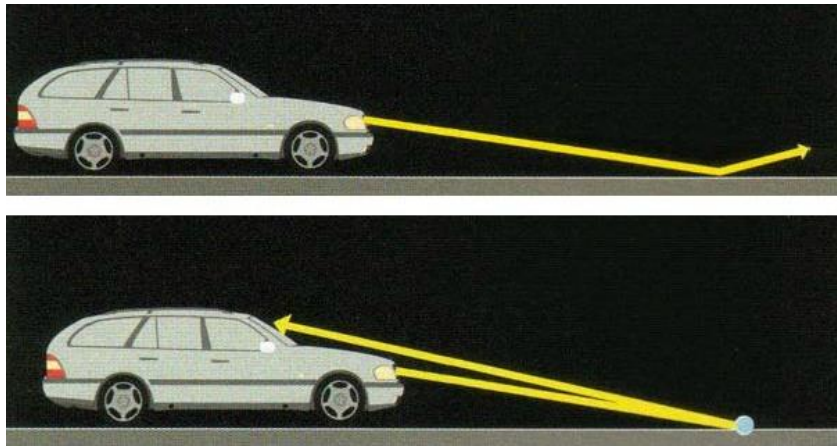


Graf 4. Učinkovitost

S obzirom na to da boja samostalno ne posjeduje nikakve retroreflektirajuće elemente, ne čudi podatak da uopće ne reflektira svjetlost natrag prema izvoru. Materijali klase I i II u odnosu na klasu III reflektiraju znatno manje svjetlosti, no to je i logično, s obzirom na to da je izrada puno povoljnija, ali i zbog korištenja staklenih mikrokuglica. S naglaskom na količinu svjetlosti koju može reflektirati prema izvoru, Diamond Grade Cubed bez sumnje jamči ogromnu uočljivost, čak i u uvjetima smanjene vidljivosti noću i za vrijeme vremenskih nepogoda. Zbog svoje velike učinkovitosti takvi znakovi najčešće se koriste u uvjetima gdje je stopa sigurnosti izuzetno velika. Tome pripadaju autoceste i gradski promet jer je prilikom vožnje gradom, u vrlo kratkom vremenu, potrebno učiniti reakciju te je važno da vidljivost znakova bude velika kako bi što je ranije moguće znak bio primijećen.

3.3. Retroreflektirajući materijali za izradu oznaka na kolniku

Među najučinkovitija i najekonomičnija sredstva za sigurno upravljanje prometom ubrajaju se i oznake na kolniku. One osiguravaju vizualne smjernice sudionicima u prometu tako što služe za održavanje ispravnog položaja na cesti. Prilikom normalnih dnevnih uvjeta, vidljivost oznaka više je nego jasna. Problem se javlja tijekom noćnih te loših vremenskih uvjeta. Zbog toga se u materijal za izradu oznaka na kolniku dodaju staklene kuglice ili perlice, odnosno retroreflektirajući elementi koji omogućuju vraćanje svjetlosnih signala natrag prema vozilu. Ako u oznakama na kolniku staklene perle nisu prisutne, lom svjetlosti događa se u suprotnom smjeru, odnosno nema retrorefleksije (Slika 13.).



Slika 13. Refleksija sa i bez staklenih perli

Izvor: [6]

Kvaliteta vidljivosti oznaka na kolniku u noćnim uvjetima i uvjetima smanjene vidljivosti očituje se u koeficijentu retrorefleksije (R_L). Utvrđen je kao omjer izlazne sjajnosti površine (L) i ulaznog osvjetljenja po toj površini (E), prema izrazu ($R = L / E$) [5]. Mjerna jedinica za sjajnost je candel po metru kvadratnom (cd/m^2), za osvjetljenje lux (lx). S toga, mjerna jedinica za koeficijent retrorefleksije je milikandel po luksu po metru kvadratnom ($cd/lx/m^2$) [5]. Minimalna vrijednost retrorefleksije oznaka na kolniku u suhim uvjetima je $150 cd/lx/m^2$, a u mokrim i kišnim uvjetima je $35 cd/lx/m^2$ [12]. Snaga retrorefleksije ne ovisi o značajkama upadne svjetlosti, nego prvenstveno o materijalu. Prikazuje koliki je doseg materijala u smislu vraćanja što veće zalihe svjetlosti u različitim vremenskim uvjetima. Staklene kuglice djeluju na principu savijanja, odnosno refleksije. Upadna svjetlost koja dolazi od farova vozila prvenstveno se, zbog refrakcije, savija na vanjskom sloju perle. Potom se odbija od ruba sloja materijala oznake na kolniku na granici perle te se kao i na početku, zbog refrakcije, svjetlost lomi i odlazi u oči vozača [13].

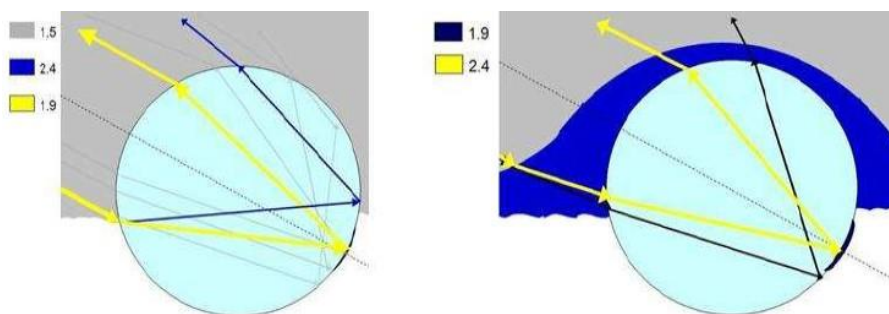
Kvaliteta retrorefleksije ovisi o [6]:

- količini staklenih kuglica po m^2 ,
- raspodjeli (distribuciji) staklenih kuglica u/po materijalu oznake (termoplastika, hladna plastika...),
- odnosu između veličine staklenih kuglica i debljine sloja oznake,
- stupnju utiskivanja staklenih kuglica,
- viskozitetu (ljepljivost) materijala oznake,
- uvjetima okoline (vrijeme, stanje na cesti...).

Da bi se ostvario željeni koeficijent retrorefleksije, potrebno je da materijal sadrži 400 do 600 g/m^2 staklenih kuglica. Kako oznake na kolniku ne bi imale svojstva klizavosti, uz staklene kuglice, u materijal treba staviti čestice oštih bridova čime se postiže veća hrapavost kolnika.

Nadolazeća karakteristika je indeks loma odnosno refrakcije. Indeks loma pojašnjava kut pod kojim će se zrake svjetlosti lomiti kod ulaska i prilikom izlaska iz staklene perle. Prikazan je omjerom brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u tvari [5].

Uslijed nepovoljnih vremenskih uvjeta, s porastom indeksa loma raste i razina vraćene svjetlosti prema izvoru. Indeks loma veći od 1,5 posebno je potreban za postizanje vidljivosti u uvjetima vlage [14]. U suhim uvjetima najveća optička učinkovitost postiže se indeksom loma od 1,9 [5]. Kako bi se postigla optimalna učinkovitost staklenih perli, jedno od mogućih rješenja je kombinacija perli s različitim indeksima loma. Time bi se osigurala veća snaga retrorefleksije u različitim uvjetima, a odgovarajući indeks loma perli doprinijet će postizanju željene retrorefleksije (Slika 14.).



Slika 14. Retrorefleksija zraka svjetlosti u različitim vremenskim uvjetima

Izvor: [5]

1. Granulacija

Granulacija je jedna od osnovnih mjera kvalitete staklenih perli. Ona predstavlja različite veličine staklenih perli. Retrorefleksija će biti bolja u slučajevima kada se primjenjuju veće staklene perle jer se nalaze iznad površine materijala. U odnosu na veće, male staklene perlice također jamče kvalitetnu retrorefleksiju u suhim vremenskim uvjetima, dok će prilikom kišnih razdoblja ona biti slabija. Životni vijek većih kuglica dulji je u odnosu na manje kuglice jer zbog svoje veličine, trošenje takvih kuglica zahtjeva dulji vremenski period. Općenito, na temelju SWARCO standarda, kuglice mogu biti različitih granulacija pa i karakteristika.

Standardne staklene kuglice pogodne su pri korištenju svih vrsta materijala od kojih se izrađuju oznake na kolniku (Slika 15.). Mogu se nanositi na materijal, ubrizgavati, a postoji i mogućnost da se prethodno umijese u smjesu, ovisno o materijalu izrade oznaka. Proizvode se u skladu s nacionalnim i međunarodnim standardima [6]. Premda su visokog standarda kvalitete, i retroreflektivna svojstva su im izvrsna. Veličine su od 1 do 850 mikrona s vrijednostima okruglosti staklenih kuglica većim od 80 %. Drop – on perle stavljaju se u oznake dok su još u tekućem stanje prije samo stvrdnjavanja, a premix perle se umiješaju u smjesu prilikom proizvodnje ovisno o materijalu oznaka.



Slika 15. Standardne perle

Izvor: [15]

Sljedeće po veličini su staklene kuglice pružaju nevjerojatnu dozu reflektivnosti jer sadrže poboljšana optička svojstva površine kuglica. Nastaju mješavinom kuglica standardnih i premium staklenih kuglica. Posjeduju visoku kvalitetu, najčešće su u veličinama od 1 do 1300 mikrona te ujedno imaju okruglost veću od 85 %. Zbog iznimno velikih retroreflektirajućih svojstva naročito su pogodne za tehnički složenije sustave oznaka na kolniku, poput strukturiranih ili profiliranih uzdužnih oznaka izrađenih od materijala termoplastike i hladne plastike. Prikazane su na slici 16.



Slika 16. Mješovite perle

Izvor: [16]

Premium staklene perle (Slika 17.), u odnosu na prethodno navedene kuglice, imaju najbolja retroreflektivna svojstva kod svih materijala za proizvodnju oznaka na kolniku. Shodno tome, pružaju izuzetnu vidljivost u svim vremenskim uvjetima. Posjeduju izvrsnu okruglost koja iznosi preko 95 %, a pretežita veličina im je do 1700 mikrona. Specijalni kemijski premaz koji služi povezivanju pridonosi izdržljivosti oznaka na kolniku s dugotrajnom reflektivnošću.



Slika 17. Premium perle

Izvor: [17]

2. Okruglost i čistoća

Okruglost i čistoća dva su veoma ključna čimbenika koja utječu na retroreflektirajuće sposobnosti staklenih kuglica. Ako staklene kuglice imaju veću zaobljenost, time će se više svjetlosti raspršivati u odnosu na one kuglice mutnijeg i nepravilnijeg oblika. Okruglost perli kreće se od 70 % do gotovo 100 %, a ovisi uvelike o razvojnom postupku te načinima i tehnologijama koje se koriste prilikom izrade s točke proizvođača [5].

Čistoća je odsustvo čestica koje stvaraju naslage na površinama perli, pri čemu utječu na smanjenje retroreflektirajućih svojstava staklenih perli. Također, zavisi o sirovinama iz kojih

se izrađuje te jesu li novi ili reciklirani materijali, odnosno ona zavisi o cjelokupnom razvojnom procesu te tehnologijama od strane proizvođača [5].

3. *Kemijski premaz*

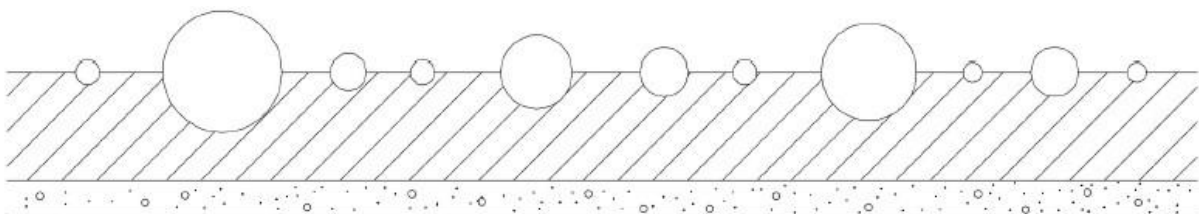
U današnje vrijeme, proizvođači upotrebljavaju razne kemijske premaze kako bi poboljšali prijanjanje retroreflektirajućih materijala na materijale za izradu oznaka na kolniku. Premazi ujedno garantiraju optimalno utiskivanje staklenih perli u materijal. Postoje tri osnovna premaza kod retroreflektirajućih materijala [18]:

- premaz koji povećava otpornost na vlagu,
- premaz kojim se garantira optimalan stupanj utiskivanja perla u materijal oznake,
- premaz koji sprječava potonuće perla u materijal.

Premda staklene perle mogu biti efikasne i bez upotrebe premaza (osigurati dovoljnu razinu retrorefleksije), premazi se koriste radi povećanja otpornosti na vlagu. Slijedom toga, sprječava mogućnosti međusobnog lijepljenja kuglica te osigurava da se kuglice na lagan način rasprše po površini znaka na kolniku. Kemijski premaz djeluje kao sloj koji pokušava sačuvati kuglice na površini oznaka i sprječava njihovo uranjanje u materijal [5].

Zbog različitih veličina granulata, različitih iskustava izvođača te ispravnost opreme za izvođenje oznaka, debljine materijala, postoji premaz kojim se garantira pravilan stupanj utiskivanja kuglica u materijal. Ti materijali ojačavaju fizičku vezu materijala i perli te time osiguravaju njihovu trajnost i retrorefleksiju [18].

Posljednji premaz omogućava kuglicama da ostanu na površini materijala za oznake na kolniku te se time ostvaruju veće vrijednosti retrorefleksije (Slika 18.). Negativne posljedice su onemogućavanje kuglicama da „potonu“ te su izložene bržem i većem trošenju. Samim time, dolazi do potrošnje čitavog materijala što uzrokuje izostanak retrorefleksije [5].



Slika 18. Kuglice u materijalu korištenjem premaza protiv potonuća

Izvor: [5]

Postoji niz parametara koji ovise o načinu izvođenja oznaka na kolniku. To su stupanj utisnuća retroreflektirajućeg materijala u oznake, gustoća i raspored retroreflektirajućih materijala te koliki je utjecaj smjera izvođenja na retrorefleksiju oznaka na kolniku [18].

a) Stupanj utisnuća retroreflektirajućeg materijala u oznaci

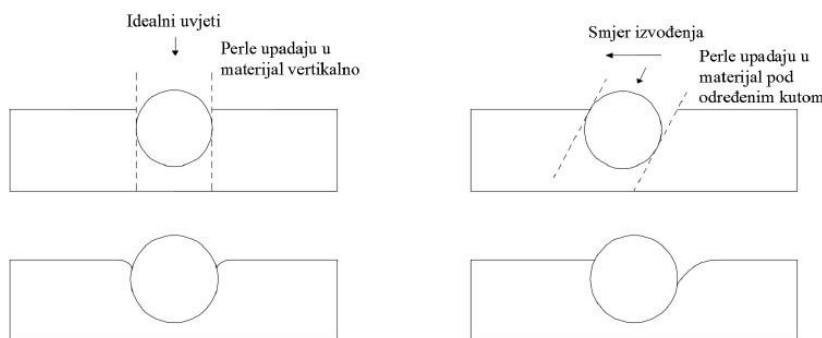
Zависи o kemijskim premazima, koji su navedeni prethodno u tekstu, a samim time ima značajan utjecaj na vrijednosti retrorefleksije i trajnost oznaka na kolniku. Stupanj utisnuća staklenih perli oscilira ovisno o vrsti granulacije same kuglice. U većini slučajeva iznosi 50 % do 60 % njihovog volumena. Kod staklenih perli koje nisu dovoljno utisnute, retrorefleksija i vijek trajanja bit će manji. Prijeti im velika izloženost trenju pa će se samim time brže trošiti. Ako su staklene perle previše utisnute, umanjit će se njihova inicijalna retrorefleksija jer će površina, gdje svjetlost ulazi u perlu i vraća se nazad, biti manja [5]. Zbog raznih uzroka, staklene perle se ne mogu na jednak način utisnuti te će uvijek postojati oscilacije i različiti postotci utisnuća.

b) Gustoća i raspored retroreflektirajućeg materijala

Gustoća materijala prikazuje se kao postotak staklenih kuglica na površini materijala. Na gustoću i način kako su staklene kuglice raspoređene ovise brzina izvođenja, udaljenost pištolja kojim se nanose perle i materijal, njihov razmak, vanjski uvjeti, itd. [12]. Uz gustoću, veoma je važna jednaka raspodjela retroreflektirajućeg materijala. Ukoliko postoji neravnomjerna raspodjela perli, glavni uzročnik tome je začepljenje u sustavu nanošenja perli i nepravilno postavljanje pištolja za izbacivanje perli [5].

c) Utjecaj smjera izvođenja na retrorefleksiju oznaka

Zbog djelovanja vanjskih utjecaja, uslijed izvođenja oznaka na kolniku, postoji mogućnost da kod izlaska perle iz pištolja ona upadne u materijal pod određenim kutom te ostaje prekrivena jednim dijelom materijala, što smanjuje retrorefleksiju. Takav slučaj prikazan je slikom 19. Ako se oznake postavljaju u smjeru kretanja vozača one će bolje vraćati svjetlost vozaču, dok će vozačima iz suprotnog smjera biti slabije vidljive [18].



Slika 19. Razlika među kutovima utiskivanja

Izvor: [5]

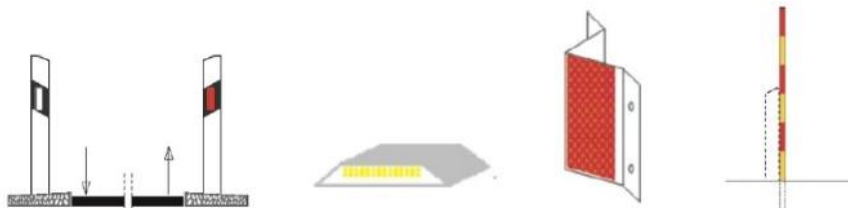
3.3. Retroreflektirajuća prometna oprema

Retroreflektirajući materijali nisu samo učinkoviti za poboljšanje preglednosti prometnih znakova i oznaka na kolniku, već se upotrebljavaju i za označavanje prometne opreme primjenom raznovrsnih retroreflektirajućih oznaka. U prometnu opremu na cesti, u kojoj postoji zastupljenost retroreflektirajućih materijala pripadaju: oprema za označavanje ruba kolnika, oprema za označavanje prometnog otoka, oprema i oznake za označavanje radova, zapreka i oštećenja kolnika, oprema za vođenje i usmjeravanje prometa u zoni radova na cesti, zapreka, privremenih opasnosti i oštećenja kolnika, branici i polubranici.

1. Oprema za označavanje ruba kolnika

Oprema za označavanje ruba kolnik (Slika 20.) obuhvaća: smjerokazne stupiće (K01), smjerokazne oznake (markere) (K02), retroreflektirajuće oznake (K03) te štapove za snijeg (K04). Smjerokazni stupići koriste se za označavanje rubnih dijelova prometnice. U smjeru u kojem se odvija promet moraju imati ugrađene reflektirajuće oznake crvene (s desne strane kolnika) i bijele (s lijeve strane kolnika) boje [19]. Ako se promet provodi jednosmjernim putem, s obje strane ceste postoji reflektirajuća oznaka crvene boje. Potom slijede smjerokazne oznake, čija zadaća je odvajanje smjerova vožnje, pješćakih prijelaza vođenje prometa u tunelu, itd. Proizvode se tako da s obje strane sadrže retroreflektirajuću oznaku. Kao i u slučaju smjerokaznih stupića, crvena boja nalazi se na desnoj strani, dok se s lijeve strane nalazi bijela boja. Kod markiranja pješćakog prijelaza oznake se izvode jednostrano u bijeloj boji, pri čemu se postavljaju okomito na podlogu s vanjske strane prijelaza. Zatim slijede retroreflektirajuće oznake koje označavaju rub kolnika. Prisutne su u onim slučajevima kada ne postoji mogućnost od postavljanja smjerokaznih stupića pa se, s toga, oznake postavljaju na zaštitne ograde i bočne zidove. Oznaka bi trebala biti udaljena od ruba kolnika na udaljenosti manjoj od 150 centimetara. Izvode se s koeficijentima retrorefleksije najmanje razreda RA2. Posljednji u nizu

opreme za označavanje ruba kolnika su štapovi za snijeg. Koriste se uslijed zimskih uvjeta u svrhu naznačivanja pružanja prometnice. Obojeni su crvenom i žutom bojom, a najviši dio štapa mora sadržavati retroreflektirajuće sastojke.



Slika 20. Oprema za označavanje ruba kolnika

Izvor: [19]

2. Oprema za označavanje vrha prometnog otoka

U opremu koja služi za označavanje prometnog otoka spadaju: ploča za označavanje prometnog otoka (K05), oprema za označavanje razdjelnog otoka (K06) te ploče za označavanje vrha prometnog otoka (K07 i K08). Upotrebljava se za označavanje prometnih otoka na raskrižju te razdjelnog otoka na krakovima autocesta i brzih cesta. Ploče K05 i K07 moraju biti izrađene od materijala najmanje koeficijenta razreda RA2, a K06 i K08 minimalno razreda RA3 [12].

3. Oprema, znakovi i oznake za označavanje radova, zapreka i oštećenja kolnika

Oprema, znakovi i oznake za označavanje radova, zapreka i oštećenja kolnika sačinjeni su od: ploča za označavanje zapreka na cesti (K09), ploča za označavanje zavoja na cesti (K10), ploča za označavanje posebno opasnog zavoja na cesti (K11), ploča za označavanje bočne zapreke (K12), stošca (K13), branika za označavanje zapreka (K14), ploča za obilježavanje mjesta izvođenja radova na cesti ili oštećenja kolnika s treptačem (K15), signalne ploče za označavanje mjesta izvođenja radova na cesti ili oštećenja kolnika (K16), signalne ploče za označavanje mjesta gdje je prometna traka zatvorena (K17), signalne ploče za označavanje mjesta suženja kolnika (K18), signalne ploče za označavanje mjesta radova na cesti te mjesta gdje je zadan smjer ili način preusmjeravanja prometa (K19) i svjetlosnog niza (K20). Ona oprema, znakovi i oznake koji su napravljeni od bijele i crvene boje moraju imati koeficijent retrorefleksije najmanje razreda RA2, dok oni koji sadrže fluorescentnu boju moraju biti minimalno razreda RA3 [19].

4. Oprema za vođenje i usmjeravanje prometa u zoni radova na cesti, zapreka, privremenih opasnosti i oštećenja kolnika

Oprema koja mora imati prisutnost retroreflektirajućeg materijala su montažni rubnjaci (K21) i markeri za razdvajanje smjerova vožnje (K22). Montažni rubnjaci koriste se za usmjeravanje prometa vozila po prometnim trakama, kao i za poboljšanje označavanja ruba kolnika. Marker se postavlja u slučaju provođenja dvosmjernog prometa na cesti gdje je inače predviđen jednosmjernan promet. Spomenute opcije moraju sadržavati retroreflektirajuće oznake koeficijenta retrorefleksije najmanjeg razreda RA2 [19].

5. Branici i polubranici

Branici i polubranici su konstrukcije čija je namjena zabraniti prometovanje vozila, pješaka i biciklista u smjeru na kojem su poprečno postavljene. Po cijeloj dužini označeni su crvenom i bijelom bojom [12]. Cijela površina mora biti izrađena od retroreflektirajućeg materijala i minimalno tri reflektirajuća stakla crvene boje.

4. PRIMJENA RETROREFLEKTIRAJUĆIH MATERIJALA ZA OZNAČAVANJE LJUDI I VOZILA

Prije samog zaključka, potrebno je navesti i objasniti primjenu retroreflektirajućih materijala za označavanje ljudi i vozila. Smanjena vidljivost prilikom noćnih i loših vremenskih uvjeta uzrokuje zakašnjelo uočavanje pješaka, biciklista i drugih vozila u prometu.

U suvremeno doba, pješaci predstavljaju jednu od najugroženijih sudionika u prometu. To potvrđuju i razne analize čiji rezultati prikazuju česte nalete vozila na pješake uslijed prethodno navedenih uvjeta. Razloga je mnogo, no jedan od većih je upravo nedostatak pješačke infrastrukture (nogostupi i pješačke staze). Naime, pješaci su primorani koristiti bankine i kolnik te samim time postaju maksimalno izloženi naletu vozila. U uvjetima smanjenje vidljivosti, vizualna ograničenja vozača glavni su uzrok prometnih nesreća u kojima sudjeluju pješaci [20]. S aspekta sigurnosti u prometu, vidljivost pješaka izuzetno je bitna stavka. U većini slučajeva, ljudi nisu svjesni koliko je njihova vidljivost mala za vozače u otežanim uvjetima, a pogotovo noću. S toga, bilo bi poželjno češće održavati edukacije o odgovornosti i generalno o ponašanju pješaka u prometu prilikom nepovoljnih uvjeta. Tim činom bi mogućnost stvaranja negativnih posljedica bila zasigurno manja te bi sigurnost svih sudionika u prometnu znatno porasla. Još jedna osjetljiva skupina u prometu su biciklisti, a sve češće i vozači romobila. Što se tiče situacije u Hrvatskoj, biciklistička infrastruktura ne prikazuje najbolje rezultate. Zbog toga se uglavnom za prometovanje i koriste prometnice namijenjene automobilima i drugim vozilima te se tako stvara potencijalna ugroza. Poput naleta na ljude, događali su se naleti i na vozila. Samim time, neka vozila zakonski su podložna obilježavanju zbog boljeg uočavanja.

4.1. Retroreflektirajući materijali za označavanje ljudi

Odjeća visoke vidljivosti prvi puta se počela koristiti u prošlom stoljeću. Boju visoke vidljivosti za tkanine izumio je Amerikanac Bob Switzer, koji je 1930-ih godina ozlijeđen na radnom mjestu. Tijekom oporavka, miješanjem fluorescentnih minerala i laka za drvo, razvio je neonsku boju [21]. Retroreflektirajuća odjeća predstavlja opremu značajne vidljivosti. S aspekta sigurnosti ona je vrlo bitna jer drastično povećava uočljivost pješaka. Osim u prometu, retroreflektirajuća odjeća upotrebljava se kod različitih drugih djelatnosti u kojima je bitna vidljivost radnika zbog povećanja same sigurnosti. Tako ih koriste radnici na cestama i željeznici, radnici u zračnim lukama, građevinski radnici, lovci te radnici koji rade u uvjetima smanjene vidljivosti. U pojedinim zemljama, primjena retroreflektirajućih prsluka obvezna je za bicikliste i motoriste. Sve to kako bi se osiguralo pravodobno uočavanje u prometu i

omogućio siguran izlazak vozila s ceste u slučaju zaustavljanja. Retroreflektirajući materijali bit će od koristi tek kada su obasjani snopom svjetla, jer će samim time reflektirati zrake natrag prema izvoru. Upravo zbog karakteristika tih elemenata, pješaci će biti uočeni mnogo prije nego osobe koje nose odjeću bez retroreflektirajućih elemenata. Na temelju analize [22], vozači su zamijetili pješake koji nose reflektirajuće prsluke na udaljenosti većoj od 200 m, a oni koji su imali običnu bijelu, sivu ili crnu odjeću primijećeni su tek na udaljenosti od 17 do 50 m. Tome uvelike doprinosi fluorescentna boja materijala koja se koristi za izradu prsluka i zaštitne odjeće. Svakako treba naglasiti kako prilikom dnevnih uvjeta pojačava kontrast u odnosu na okolinu. Slijedom toga, reflektirajući prsluci postaju izrazito učinkoviti i praktični za povećanje vidljivosti pješaka kada se kombiniraju fluorescentne boje s retroreflektirajućim elementima.

Američki nacionalni institut za norme 1999. godine sastavio je niz standarda u svrhu označavanja radnika odjećom visoke vidljivosti. Prema tome, postoje tri kategorije odjevnih predmeta visoke vidljivosti [23]. Prema hrvatskom standardu HRN EN ISO 20471:2013 (Upozoravajuća odjeća uočljiva s velike udaljenosti – Metode ispitivanja i zahtjevi), učinak materijala za poboljšanje vidljivosti koji se koristi za odjeću za povećavanje vidljivosti je specificiran fotometrijski, zajedno s minimalnim područjima i načinom smještanja materijala [21].

Različite klase materijala i odjeće za povećanje vidljivosti pružaju različite razine uočljivosti, pri čemu klasa 3 označava najvišu razinu uočljivosti koja se može koristiti, kako u urbanoj, tako i u ruralnoj okolini, ali i generalno u svim uvjetima vidljivosti. U tablici 1. prikazane su minimalne veličine područja određenih vidljivih materijala prema klasama.

Tablica 1. Minimalne površine vidljivog materijala u m²

Materijal	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3
Fluorescentni	0.14	0.50	0.80
Retroreflektirajući	0.10	0.13	0.20

Izvor: [21]

Na temelju razine vidljivosti postoji nekoliko kombinacija odjeće. Radnici na cestama, željeznici i drugim industrijama najčešće koriste odjeću koja pokriva torzo i ruke, odjeća koja pokriva noge te odjeća koja pokriva noge, ruke i torzo. Pješaci i biciklisti najčešće koriste odjeću koja pokriva samo torzo. Kao alternativa, danas pješaci i biciklisti sve više upotrebljavaju sigurnosne retroreflektirajuće trake za gležnjeve i ruke. Uz to, modni trendovi su, kako bi dobili na popularnosti, počeli koristiti male retroreflektirajuće detalje prilikom proizvodnje obuće i odjeće. Stoga, mnogi sportski ambasadori lansiraju tenisice, trenirke i čarape s retroreflektirajućim detaljima. Na slici 21. prikazane su opcije odjeća s retroreflektirajućim elementima.



Slika 21. Retroreflektirajući materijali za označavanje ljudi

Izvor: [24]

4.2. Označavanje vozila

Opasnosti izazvane slabom vidljivošću vozila, posebice teretnih, rješava se primjenom visokoučinkovitih retroreflektirajućih oznaka na vozilu. Većinom se markiraju ona vozila koja bi obavezno trebala biti vidljiva za poboljšanje sigurnosti u prometu. To su teška teretna vozila, vozila izvanrednog prijevoza, vozila hitne pomoći i vozila MUP-a i sl. Također, retroreflektirajuće oznake za vozila sve više se koriste u rudarskim industrijama kako bi poboljšale njihovu vidljivost te u željezničkoj industriji s ciljem poboljšanja uočljivosti vlakova uslijed noćnih uvjeta u područjima prijelaza.

Ispravno i kvalitetno postavljanje oznaka za označavanje vozila temelji se na zakonima i pravilnicima. Zakonska regulativa iz područja označavanja vozila donosi odredbe o području primjene retroreflektirajućih oznaka, ispitivanja retrorefleksije oznaka, homologaciju oznaka prema Pravilnicima (ECE R 104.00, ECE R 70.01, ECE R 70.00 i ECE R 69.00) i provjeru

sukladnosti vozila [10]. Također, Republika Hrvatska izdala je i sljedeće naredbe o homologaciji retroreflektirajućih oznaka: [12]:

- naredba o homologaciji stražnjih ploča za označavanje dugih i teških vozila,
- naredbu o homologaciji ploča za označavanje sporih vozila,
- naredbu o homologaciji retroreflektivnih oznaka za teška i duga vozila i njihove prikolice,
- naredbu o izmjenama i dopunama Naredbe o homologaciji stražnjih ploča za označavanje teških, dugih i sporih vozila

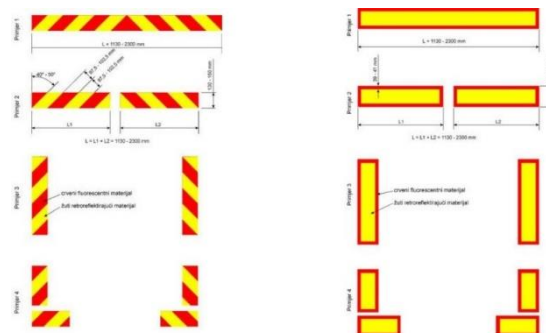
Proces homologacije retroreflektirajućih oznaka za teška i duga vozila uključuje kontrolu cjelokupnog procesa proizvodnje koji obuhvaća definiranje narudžbe materijala sve do završne kontrole finalnog proizvoda.

4.2.1. Obilježavanje teških i dugih vozila

Teretna motorna vozila s najvećom dopuštenom masom od 12 ili više tona moraju biti obilježena po odredbama koje propisuje pravilnik ECE R 70.00. Slikom 24. prikazane su oznake za obilježavanje teških i dugih vozila. One moraju biti sačinjene od mnogo crvenih i fluorescentnih linija pod zahtijevanim kutom. U skladu sa zakonskom regulativom za označavanje teretnih vozila, postoji niz različitih oznaka koje se kombiniraju na vozilu. Ona se mogu označavati jednim znakom ili s više njih, ovisno o zahtjevima propisanim zakonom [10].

Dugim vozilima smatraju se ona vozila koja se sastoje od priključnim elemenata, točnije prikolica. Samim time, bitno je označiti priključna vozila određenim retroreflektirajućim oznakama. Oznake za obilježavanje dugih vozila sastoje se od crvenog fluorescentnog ruba, unutar kojeg su ispunjeni sa žutom retroreflektirajućom površinom (Slika 22.) [10].

Postavljanje oznaka na vozilo ovisi o veličini strukture vozila. Važno je osiguranje simetričnosti oznaka u odnosu na uzdužnu vertikalnu os simetrije vozila.



Slika 22. Kombinacije prilikom označavanja teških i dugih vozila

Izvor: [12]

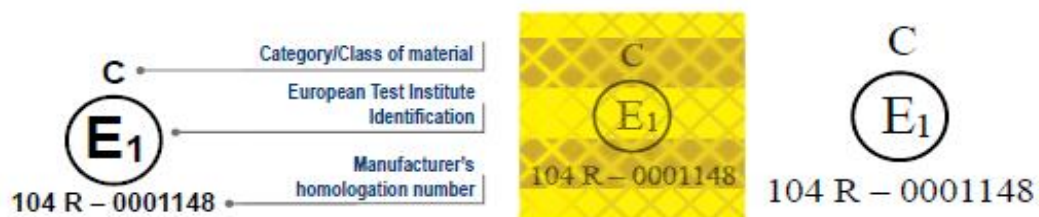
4.2.2. Dokumentacija homologacijske ploče

Ukoliko bi upotreba prethodno navedenih oznaka bila moguća, moraju proći određenu homologaciju. Prilikom podnošenja zahtjeva za homologaciju, oznake moraju sadržavati [10]:

- trgovački naziv ili poseban znak podnosioca zahtjeva,
- oznaku smjera „TOP“ koja mora biti postavljena minimalno na svakih 0,5 m razmaka kod trakova ili svakih $100 \times 100 \text{ mm}^2$ kod ploha,
- oznake smjera „TOP“ trebaju biti postavljene na vanjskoj strani retroreflektirajućih oznaka, moraju biti dobro uočljive, lako čitljive, otisnute najmanje jednom i neizbrisive.

Za one retroreflektirajuće oznake koje su ispunile odredbe homologacije, izdaje se homologacija zatraženog tipa proizvoda za označavanje. Svaka retroreflektirajuća oznaka koja je primila odgovarajuću homologacijsku oznaku pripada jedinstvenom homologacijskom broju retroreflektirajuće oznake vozila. Međunarodna homologacijska oznaka nalazi se na slici 23., a sastoji se od [10]:

- kruga oko slova „E” iza kojeg slijedi razlikovni broj države koja je izdala homologaciju broja Pravilnika, iza kojeg se nalazi slovo „R”, crtica i homologacijski broj sljedećih dodatnih oznaka koje prikazuju razred materijala:
- „C” za materijal za rubno označavanje trakovima,
- „D” za materijal za razlikovne oznake/cртеže za ograničene površine,
- „E” za materijal za razlikovne oznake/cртеže za velike površine,
- „D/E” za materijale za razlikovne oznake ili cртеže koji služe kao osnova ili pozadina u procesu tiskanja potpuno obojenih logotipa i oznaka razreda „E” u uporabi, koji ispunjavaju zahtjeve za materijale razreda „D”.



Slika 23. Međunarodna homologacijska oznaka

Izvor: [25]

4.2.3. Načini označavanja vozila

Postoje tri osnovna načina označavanja vozila koja su ustanovljena na temelju pravilnika ECE R 104.00. To je novi propis kojim se nakon analize smjernica dozvoljava korištenje retroreflektirajućih sigurnosnih oznaka i grafičkog oglašavanja dugih i teških vozila [12]. Zadaća tih oznaka je pružanje optimalne percepcije samih vozila. Pravilnim pravokutnim linijama označava se dužina i širina vozila, unutar kojih se nalaze dodatne grafičke oznake koje su potrebne. Uslijed korištenja potpune konture, retroreflektirajuća traka nanosi se što preciznije ka rubovima vozila. Taj postupak zasigurno daje garanciju vidljivosti tog vozila drugim sudionicima u prometu. Tom metodom se može označiti i bočna strana ako za to postoji potreba. Na slici 24. prikazana je potpuna kontura vozila.



Slika 24. Primjer potpune konture na vozilu

Izvor: [12]

Kod djelomične konture, po jedna traka retroreflektirajuće oznake nanosi se na bočne i stražnje stranice prikolice. Kao dodatak u gornje dijelove prikolice nanose se oznake u obliku „L“ dužine pola metra. U slučajevima kada nije moguće označavanje konturama, preporuka je koristiti označavanje linijom [10]. Na slici 25. prikazana je djelomična kontura na vozilu.



Slika 25. Primjer djelomične konture na vozilu

Izvor: [12]

Linijsko označavanje sastoji se od jedne retroreflektirajuće trake koja se nanosi duž bočnih i stražnje stranica vozila. Upotrebljava se kod vozila koja ne sadrže retroreflektirajuću grafiku, razno razne logotipe ili im je struktura na koju se traka može nanijeti ograničena. Na slici 26. prikazano je linijsko označavanje.



Slika 26. Primjer linijskog označavanja na vozilu

Izvor: [12]

Za označavanje vozila s „ceradama“ koriste se posebne retroreflektirajuće trake. Zbog specifičnog materijala od kojeg se izrađuju, oznake moraju biti značajno fleksibilne kako ne bi došlo do pojave loma. Oznake se postavljaju na donji rub „cerade“, prateći pritom jedan od prethodno navedenih načina. Fleksibilna retroreflektirajuća traka mora biti montirana tako da nijedan dio trake nije razmaknut više od 50 % širine pojedinog dijela. Prema propisu, preporučuje se da retroreflektirajuća sigurnosna traka bude postavljena na najmanje 80 % dužine cerade teretnog vozila. Na slici 27. prikazana je cerada.



Slika 27. Primjer označavanja cerade

Izvor: [10]

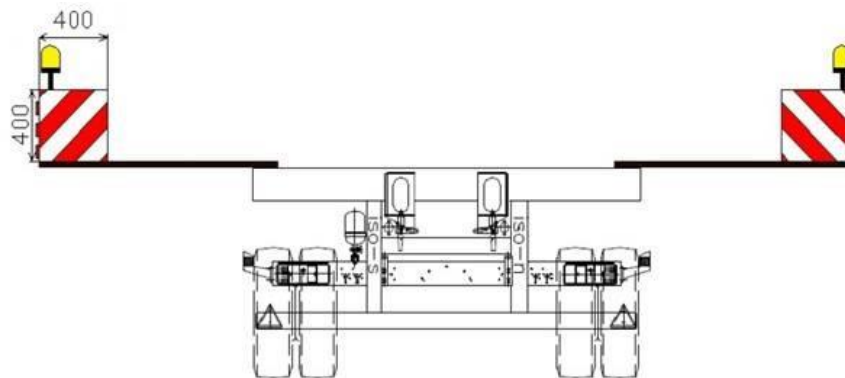
Izvanrednim prijevozom smatraju se vozila koja masom prevezenog tereta i veličinom konstrukcije zadovoljavaju postojeane propise. Takva vozila ne smiju premašiti osovinska opterećenja od 12 tona po osovini. Ona moraju biti označena s prednje i sa stražnje strane oznakama od retroreflektirajućeg materijala. Slika 28. prikazuje izgled takve oznake.



Slika 28. Oznaka za izvanredni prijevoz

Izvor: [26]

Ako širina konstrukcije prolazi propisane mjere, mora se označavati crveno – bijelim retroreflektirajućim pločama (Slika 29.). Sa svake strane tog tereta mora se nalaziti po jedna ploča te na prednjoj i stražnjoj strani vozila. Naznačene točke vozila služe kao upozorenje ostalim sudionicima cestovnog prometa na moguću opasnost na prometnici.



Slika 29. Prikaz širine konstrukcije i dimenzija ploča

Izvor: [26]

5. ZAKLJUČAK

Današnji stil života zahtijeva svakodnevno korištenje prometa. Dobro razvijena prometna infrastruktura olakšava lakše i brže kretanje prostorom, što ujedno odgovara samom tempu života. Ne čudi, pritom, što je gustoća prometa iz godine u godinu sve veća. Povećanjem gustoće prometa, neophodno je, radi bolje organizacije, ali i s aspekta sigurnosti, neprestano unaprjeđivati postojeće prometne propise i pravila ponašanja. Pritom treba naglasiti kako glavnu ulogu ima prometna signalizacija. Kao što je spomenuto i kroz prethodna poglavlja ovog rada, kako bi vidljivost prometne signalizacije bila što bolja, veoma je važno korištenje kvalitetnih i dugotrajnih materijala koji će tu vidljivost podići na visoku razinu. Primjer toga su retroreflektirajući materijali koji pomoću svojih svojstva i značajki omogućavaju vidljivost, bez obzira na uvjete. Kako bi do toga došlo, iza svega stoji duga povijest, kroz koju su se razvijale i testirale različite metode u različitim uvjetima. Usporedivši današnje materijale s onima iz početnih faza primjena, može se vidjeti značajan pomak. Primjerice, neki od materijala, čija je kvaliteta kroz godine porasla su materijali klase I, II i III. Među njima se ističe klasa II, što se može vidjeti na primjeru navedenih grafikona pomoću kojih se pokazuje početan sjaj, promjena retroreflektivnih vrijednosti s promjenom kutnosti i dugotrajnost, odnosno pad snage retrorefleksije tijekom određenog razdoblja. Ipak, najbolja svojstva retrorefleksije ima klasa III zbog pružanja visoke uočljivosti, ne samo danju, već i u uvjetima smanjene vidljivosti i noću.

Što se pak tiče oznaka na kolniku, koje su važne za lakše kretanje prometnicama te uočavanje upozorenja i obavijesti (pješački prijelaz, škola i sl.), glavnu ulogu imaju staklene kuglice. Njihovim utiskivanjem u materijal za izradu oznaka na kolniku, postiže se bolja uočljivost samih linija. Što su kuglice veće, to će i retrorefleksija biti bolja. Razlog tome je taj što veće kuglice, zbog obujma, prilikom procesa utiskivanja u materijal ostavljaju veći trag iznad površine materijala. Osim veličine, na kvalitetu utječe čistoća i veća zaobljenost, koja omogućava veću raspršivost svjetlosti. Prema tim kriterijima, kao najbolji primjer, s više od 95% zaobljenosti, pokazale su se premium staklene perle. Kako bi dugotrajnost i kvaliteta kuglica bila što veća, postoje kemijski premazi koji ih štite da se uslijed prisutnih trenja što manje troše te da spriječe moguće potonuće istih u materijal, pa su im time retroreflektirajuća svojstva veća.

S aspekta sigurnosti ostalih sudionika u prometu, važna je i primjena retroreflektirajuće odjeće. Oni su uglavnom izrađeni od fluorescentne boje kojom se postiže povećanje kontrasta u odnosu na okolinu. Premda velika gustoća prometa, zbog otežane vidljivosti, može izazvati nepoželjne nezgode, preporuča se takva vrsta označavanja kod pješaka i biciklista. Rezultati

raznih analiza i ispitivanja pokazali su kako je uočljivost označenih pješaka i biciklista znatno bolja od onih u svakodnevnoj uobičajenoj odjeći. Osim u prometu, takva vrsta odjeće, s ciljem bolje vidljivosti koristi se i u pojedinim drugim djelatnostima poput građevine, rudarstva i sl. Također, s aspekta sigurnosti važna je i primjena visoko učinkovitih retroreflektirajućih materijala za označavanje teretnih motornih vozila. Naime, premda je njihova brzina kretanja manja u odnosu na ostala motorna vozila, to je često predstavljalo problem i izazivalo prometne nezgode. Cilj označavanja takve vrste vozila je što ranije uočavanje na prometnicama kako bi reakcija bila pravovremena i kako bi se ujedno smanjio rizik od stvaranja neželjenih posljedica.

Cjelokupno gledajući, primjena retroreflektirajućih materijala u prometu ima nezamjenjivu ulogu u svakom segmentu. Ne postoji ni jedna zamjenska solucija koja bi mogla postići takav ili sličan efekt pojačane vidljivosti. Generalno, što se tiče prometne signalizacije u Hrvatskoj, može se reći da je situacija zadovoljavajuća, no svakako treba naglasiti kako i dalje postoji velik prostor za napredak. Osim daljnjeg rada na proizvodnji kvalitetnijih i dugotrajnijih materijala, potrebno je kontinuirano pratiti postojeće stanje kvalitete prometnih znakova i oznaka na kolnicima, vršiti ažurnu obnovu te uvesti pojačane mjere po pitanju označavanja ljudi i vozila.

LITERATURA

- [1] Preuzeto s: <http://rg.c-hip.net/2014/seminari/car-corko-spoljaric/modeli.html> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [2] Preuzeto s: <https://smartclass4kids.com/reflection-of-light/> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [3] Ščukanec, A. *Primjena retroreflektirajućih materijala u funkciji cestovnoprometne sigurnosti*. Disertacija. Sveučilište u Zagrebu; 2003.
- [4] Preuzeto s: https://www.3m.com.au/3M/en_AU/scotchlite-reflective-material-au/industries-active-lifestyle/active-lifestyle/how-retroreflection-works/ [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [5] Babić, D. *Model predviđanja trajanja oznaka na kolniku*. Disertacija. Sveučilište u Zagrebu; 2018.
- [6] Babić, D. *Autorizirana predavanja iz kolegija Vizualne informacije u prometu*, Zagreb, 2019./2020.
- [7] Banović, B. *Procjena vrijednosti retrorefleksije prometnih znakova korištenjem vjerojatnosnog modela*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2016.
- [8] Preuzeto s: <http://www.rema.org.uk/pub/pdf/history-retroreflective-materials.pdf> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [9] Brkić, F. *Analiza kvalitete prometnih znakova na državnim cestama Zadarske županije*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2019.
- [10] Samardžić, A. *Uporaba retroreflektirajućih oznaka za označavanje vozila u svrhu sigurnosti*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2019.
- [11] Preuzeto s: <http://www.chemosignal.hr/usluge/3m/prometniznakovi/> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [12] Ščukanec, A. *Autorizirana predavanja iz kolegija Prometna signalizacija*, Zagreb.
- [13] Mitrović, A. *Utjecaj zimske službe na retrorefleksiju oznaka na kolniku*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2016.

- [14] Burghardt T.E., Babić D, Pashkevich A. Performance and environmental assessment of prefabricated retroreflective spots for road marking. *Case Studies in Construction Materials*. 2021;15. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952100070X> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [15] Preuzeto s: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1135/8612/products/bead_blend_600ef537-26e4-4c5a-8928-47dc7b787d92_grande.jpg?v=1610470372 [Pristupljeno: lipanj, 2023.]
- [16] Preuzeto s: <https://www.tenroadsglass.com/uploads/image/20200121/16/tenroads-glass-beads-011281.png> [Pristupljeno: lipanj, 2023.]
- [17] Preuzeto s: https://m.media-amazon.com/images/I/21emG5SihoL._AC_.jpg [Pristupljeno: lipanj, 2023.]
- [18] Dumbović, N. *Utvrđivanje veze između retrorefleksije oznaka na kolniku i učestalosti nastanka prometnih nesreća u noćnim uvjetima*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021.
- [19] *Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama* (NN 92/2019), Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture.
- [20] Tyrrell R.A., Wood J.M., Owens A.D., Whetsel Borzendowski S., Stafford Sewall A. The conspicuity of pedestrians at night: a review. *Clinical and Experimental Optometry*.2016;99: 425 – 434. Preuzeto s: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/cxo.12447> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [21] Ferko, M. *Analiza utjecaja retroreflektirajućih prsluka i svijetle odjeće na sigurnost pješaka*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2017.
- [22] Babić D., Babić D., Fiolić M., Ferko M. Factors affecting pedestrian conspicuity at night: Analysis based on driver eye tracking. *Safety Science*. 2021;139. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753521001028> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]
- [23] Preuzeto s: <https://www.prudentialuniforms.com/blog/history-high-vis-clothing/> [Pristupljeno: svibanj,2023]
- [24] Preuzeto s: https://www.ginifab.com/custom_bracelets/reflective_ankle_bands.html [Pristupljeno: svibanj, 2023.]

[25] Babić D., Fiolić M., Prusa P. Impact of Heavy Vehicle Visibility on Traffic Safety. Zagreb, 2014. Preuzeto s: <https://studylib.net/doc/7071043/impact-of-heavy-vehicle-visibility-on-traffic-safety> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]

[26] Preuzeto s: <https://www.czs.hr/hr/izvanredni-prijevoz> [Pristupljeno: svibanj, 2023.]

POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFOVA

Popis slika:

Slika 1. Difuzna refleksija	2
Slika 2. Zrcalna refleksija	3
Slika 3. Retrorefleksija	3
Slika 4. Sferična retrorefleksija	4
Slika 5. Prizmatična retrorefleksija.....	4
Slika 6. Kvaliteta retrorefleksije pojedinih znakova.....	5
Slika 7. Struktura materijala klase I.....	7
Slika 8. Folije klase IS (lijevo) i IP (desno).....	8
Slika 9. Folije klase IIP (lijevo) i IIS (desno)	9
Slika 10. Struktura materijala klase II	10
Slika 11. Struktura materijala klase III	11
Slika 12. Osnovni kutovi gledanja i ulaza svjetlosti	12
Slika 13. Refleksija sa i bez staklenih perli	16
Slika 14. Retrorefleksija zraka svjetlosti u različitim vremenskim uvjetima	17
Slika 15. Standardne perle	18
Slika 16. Mješovite perle	19
Slika 17. Premium perle.....	19
Slika 18. Kuglice u materijalu korištenjem premaza protiv potonuća.....	20
Slika 19. Razlika među kutovima utiskivanja	22
Slika 20. Oprema za označavanje ruba kolnika	23
Slika 21. Retroreflektirajući materijali za označavanje ljudi.....	27
Slika 22. Kombinacije prilikom označavanja teških i dugih vozila	28
Slika 23. Međunarodna homologacijska oznaka	29
Slika 24. Primjer potpune konture na vozilu	30
Slika 25. Primjer djelomične konture na vozilu	30
Slika 26. Primjer linijskog označavanja na vozilu.....	31
Slika 27. Primjer označavanja cerade	31
Slika 28. Oznaka za izvanredni prijevoz	32
Slika 29. Prikaz širine konstrukcije i dimenzija ploča.....	32

Popis tablica:

Tablica 1. Minimalne površine vidljivog materijala u m² 26

Popis grafova:

Graf 1. Snaga retrorefleksije 13
Graf 2. Kutnost 14
Graf 3. Trajnost 14
Graf 4. Učinkovitost 15

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Primjena retroreflektirajućih materijala u prometu, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 26.06.2023.

Dominik Kufek
(ime i prezime, potpis)