

# Model predviđanja trajanja oznaka na kolniku

---

**Babić, Dario**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2018**

*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:119:894415>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dario Babić

**MODEL PREDVIĐANJA TRAJANJA  
OZNAKA NA KOLNIKU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Dario Babić

**ROAD MARKINGS SERVICE LIFE  
PREDICTION MODEL**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2018.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dario Babić

**MODEL PREDVIĐANJA TRAJANJA  
OZNAKA NA KOLNIKU**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Dario Babić

**ROAD MARKINGS SERVICE LIFE  
PREDICTION MODEL**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Prof. Anđelko Ščukanec, PhD

Zagreb, 2018.

## PODATCI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

1. Ime i prezime: Dario Babić
2. Datum i mjesto rođenja: 27. kolovoza 1987. godine, Zagreb
3. Naziv završenoga fakulteta i godina diplomiranja: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2011. godine

## INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Naziv doktorskoga studija: **Tehnološki sustavi u prometu i transportu**
2. Naslov doktorskoga rada: **Model predviđanja trajanja oznaka na kolniku**
3. Fakultet na kojem je doktorski rad obranjen: **Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu**

## INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Datum prijave doktorskoga rada: 2. ožujka 2016.
2. Datum obrane teme doktorskoga rada: 8. lipnja 2016.
3. Mentor: prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec
4. Povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskoga rada:  
prof. dr. sc. Goran Zovak, predsjednik  
prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec, mentor, član  
prof. dr. sc. Stjepan Lakušić (Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu), vanjski član  
prof. dr. sc. Mario Šafran, zamjena
5. Lektor: Ljupka Đurić, prof.
6. Datum obrane doktorskoga rada: 24. siječnja 2018.

**INFORMACIJE O MENTORU:** prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec

## **ŽIVOTOPIS**

Anđelko Ščukanec rođen je 29. siječnja 1957. godine u Zagrebu. Osnovnu školu i srednju elektrotehničku školu završio je u Zagrebu, a 1984. godine diplomirao je na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Radni je odnos zasnovao 1. travnja 1981. godine, a od 1987. godine radio je u poduzeću „Zagrebačke ceste” na radnom mjestu projektanta za privremene regulacije prometa. Godine 1989. u istom poduzeću postaje rukovoditelj radne jedinice „Signalizacija”. Od 2000. godine radi na Fakultetu prometnih znanosti u Zavodu za prometnu signalizaciju gdje se, između ostaloga, bavi atestiranjem i ispitivanjem tehničkih karakteristika prometnih znakova, oznaka na kolniku te revizijom i izradom prometnih projekata. Doktorsku disertaciju pod naslovom „Primjena retroreflektirajućih materijala u funkciji cestovno-prometne sigurnosti” obranio je dana 17. prosinca 2003. godine na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu i stekao doktorat iz područja tehničkih znanosti. Od 2006. godine obnaša dužnost predstojnika Zavoda za prometnu signalizaciju, a 2013. godine izabran je u znanstveno-nastavno zvanje redovitoga profesora. Tijekom rada na Fakultetu, pod znanstvenim brojem istraživača 243794, sudjelovao je i sudjeluje u vođenju znanstvenih projekata Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH i u radu na njima. Autor je niza radova objavljenih u znanstvenim časopisima i zbornicima sa znanstvenih konferencija. Član je Hrvatskoga znanstvenoga društva za promet, Tehničkoga odbora Državnoga zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo DZNM/TO 509: Cestovna oprema te Hrvatske udruge diplomiranih inženjera i inženjera Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

## **POPIS OBJAVLJENIH RADOVA**

1. Babić, D., Babić, D., Ščukanec, A. 2017. The Impact of Road Familiarity on the Perception of Traffic Signs – Eye Tracking Case Study. *The Proceedings of the 10th International Conference: "Environmental Engineering"*, Vilnius, Lithuania, p. 1-7.
2. Burghardt, T. E., Ščukanec, A., Babić, D., Babić, D. 2017. Durability of Waterborne Road Marking Systems with Various Glass Beads. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: "New Solutions And Innovations In Logistics And Transportation"*, Zagreb, Croatia, p. 51-58.
3. Babić, D., Ščukanec, A., Babić, D. 2016. Determining the Correlation Between Daytime and Night-time Road Markings Visibility. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 11(4):283-290.

4. Babić, D., Ščukanec, A., Fiolić, M. 2016. Predicting State of Traffic Signs Using Logistic Regression. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 6(3):280-288.
5. Babić, D., Novačko, L., Ščukanec, A. 20016. Observing the Impact of Variable Speed Limit Signs on the Traffic Flow. *The Proceedings of the First International Conference: Transport for Today's Society*, Bitola, Macedonia, p. 63-71.
6. Mitrović, A., Ščukanec, A., Babić, D. 2016. Impact of Winter Maintenance on Retroreflection of Road Markings. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows“*, Zagreb, Croatia, p. 119-127.
7. Babić, D., Ščukanec, A., Krleža, J. 2015. The Possibilities for Improving Safety on Croatian State Roads D3 and D29 with the Analysis of the Traffic Signs Quality. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Cooperation Model of the Scientific and Educational Institutions and the Economy“*, Zagreb, Croatia, p. 9-18.
8. Babić, D., Ščukanec, A., Fiolić, M. 2014. Traffic Sign Analysis as a Function of Traffic Safety on Croatian State Road D3. *The Proceedings of the Second International Conference on Traffic and Transport Engineering*, Belgrade, Serbia, p. 275-283.
9. Ščukanec, A., Babić, D., Sokol, H. 2013. Methodology for Measuring Traffic Signs Retroreflection. *The Proceedings of the First International Scientific Forum*, Tirana, Albania, p. 134-141.
10. Rožić, T., Ščukanec, A., Bačura, M. 2012. Goods Flow Analysis as Defining Element of LDC Location – Case Study City of Zagreb. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Development of Logistics Business and Transport System Supported by EU Funds“*, Zagreb, Croatia, p. 279-292.
11. Ščukanec, A., Fiolić M., Babić, D. 2012. Analysis of Retroreflectivity of Paint and Plastic Road Markings on Croatian State Road D1. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Development of Logistics Business and Transport System Supported by EU Funds“*, Zagreb, Croatia, p. 341-350.



## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Predmet istraživanja .....	1
1.2. Svrha i cilj istraživanja .....	3
1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja .....	4
1.4. Osnovna hipoteza .....	20
1.5. Metode istraživanja .....	20
1.6. Kompozicija rada .....	21
1.7. Očekivani rezultati istraživanja.....	22
1.8. Očekivani znanstveni doprinos .....	23
1.9. Primjena rezultata istraživanja.....	23
2. OSNOVNI POJMOVI VEZANI UZ OZNAKE NA KOLNIKU .....	24
2.1. Povijesni razvoj oznaka na kolniku.....	24
2.2. Definicija oznaka na kolniku .....	25
2.3. Podjela oznaka na kolniku .....	26
3. TEMELJNE ODREDNICE VIDLJIVOSTI OZNAKA NA KOLNIKU .....	30
3.1. Vrste refleksije te njihov utjecaj na vidljivost u prometu.....	30
3.2. Čimbenici utjecaja na vidljivost oznaka na kolniku .....	34
4. MATERIJALI ZA IZVOĐENJE OZNAKA NA KOLNIKU .....	51
4.1. Boje .....	52
4.2. Plastični materijali.....	57
4.3. Trake kao materijali za izvođenje oznaka na kolniku .....	63
4.4. Ostali materijali za izvođenje oznaka na kolniku .....	65
4.5. Usporedba materijala za izvođenje oznaka na kolniku .....	65
5. METODE ISPITIVANJA KVALITETE OZNAKA NA KOLNIKU.....	68
5.1. Metoda statičkoga ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku.....	70
5.2. Dinamičko ispitivanje retrorefleksije oznaka na kolniku .....	73

5.3.	Usporedba metoda za ispitivanje vidljivosti oznaka na kolniku.....	74
5.4.	Minimalne propisane vrijednosti retrorefleksije u RH.....	76
6.	ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA KVALITETE OZNAKA NA KOLNIKU....	78
6.1.	Ispitivanje kvalitete oznaka na kolniku u RH.....	78
6.2.	Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala .....	80
6.3.	Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih termoplastikom .....	88
6.4.	Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom .....	93
7.	DEFINIRANJE MODELA PREDVIĐANJA TRAJANJA OZNAKA NA KOLNIKU..	98
7.1.	Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala	98
7.2.	Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih termoplastikom .....	103
7.3.	Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom.....	107
7.4.	Verifikacija izrađenih modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku.....	111
8.	DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA.....	114
8.1.	Ograničenja znanstvenoga istraživanja .....	116
8.2.	Buduća istraživanja .....	117
8.3.	Originalnost rada.....	118
9.	ZAKLJUČAK .....	120
	POPIS LITERATURE.....	124
	POPIS SLIKA I TABLICA .....	134
	POPIS PRILOGA.....	138
	ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA AUTORA.....	148

## SAŽETAK

Oznake na kolniku predstavljaju dio prometne signalizacije koji korištenjem i kombinacijom crta, natpisa i simbola oblikuje prometnu površinu te daje informacije vezane uz vizualno vođenje sudionika u prometu. Kako su oznake na kolniku u centralnom vidnom polju vozača, predstavljaju značajan element koji doprinosi sigurnosti prometa. Da bi oznake mogle izvršavati svoju funkciju i pridonijeti povećanju sigurnosti prometa, one moraju biti vidljive, posebno u uvjetima smanjene vidljivosti. Iz navedenih razloga vidljivost oznaka na kolniku predstavlja, za sigurnost cestovnoga prometa, njihovu najvažniju karakteristiku te se na temelju nje određuje ciklus održavanja odnosno obnavljanja oznaka na kolniku.

U ovom su doktorskom radu razvijeni modeli za predviđanje trajanja oznaka na kolniku za tri najčešće korištena materijala, a to su: boje na bazi otapala, termoplastika te hladna strukturirana plastika. Istraživanje se temelji na podacima koji su dobiveni mjerenjima vidljivosti odnosno retrorefleksije oznaka na kolniku primjenom suvremene dinamičke metode mjerenja retrorefleksije oznaka. Osim retrorefleksije, a s ciljem dobivanja točnih i preciznih modela, na temelju postojeće literature identificirani su relevantni čimbenici koji utječu na degradaciju retrorefleksije oznaka, a time i na njihovo trajanje. Ti su čimbenici sljedeći: starost i položaj oznake, prosječan godišnji dnevni promet, aktivnosti zimske službe i prosječno ograničenje brzine na cestama. Njihov je utjecaj na trajanje oznaka detaljno statistički analiziran. Istraživanje je ukupno obuhvatilo 115 oznaka koje su izvedene bojom na bazi otapala ukupne duljine 5 218 km, 30 termoplastičnih oznaka ukupne duljine 579 km te 30 oznaka koje su izvedene hladnom strukturiranom plastikom ukupne duljine 497,9 km.

Na temelju statističke analize utjecaja pojedinih čimbenika na trajanje navedenih materijala za izvođenje oznaka na kolniku razvijeni su modeli predviđanja trajanja oznaka na kolniku. Razvijeni su modeli pokazali zadovoljavajuću točnost te ih se kao takve može učinkovito koristiti za optimizaciju aktivnosti održavanja oznaka na kolniku s ciljem povećanja cestovne sigurnosti i racionalizacije troškova održavanja.

**Ključne riječi: oznake na kolniku, retrorefleksija, model trajanja, dinamičko ispitivanje**

## **SUMMARY**

Road markings are part of traffic signalization that form the road surface by using and combining lines, signs and symbols and provide information concerning visual guidance to road users. Since they are positioned in the drivers' central field of vision, road markings are an important element contributing to road safety. In order to perform their function and contribute to the increase of road safety, road markings have to be visible, especially under low visibility conditions. It is precisely for these reasons that road markings visibility represents their most important characteristic for road safety, based on which the cycle of maintenance or renewal of road markings is determined.

In this doctoral thesis models have been developed to predict service life of road markings for three most frequently used materials: solventborne paint, thermoplastic and cold structural plastic. The research is based on the data obtained by measuring visibility, that is, retroreflection of road markings by means of a contemporary dynamic method for measuring road markings retroreflection. In addition to retroreflection and in order to obtain accurate and precise models, based on the existing literature, relevant factors have been identified that affect the degradation of road markings retroreflection and thus their service life. Such factors include: road marking age and position, average annual daily traffic, winter maintenance activities and average speed limit on the road. Their impact on the road markings service life has been statistically analysed in detail. The research comprised in total 115 road markings applied in solventborne paint in total length of 5 218 km, 30 thermoplastic road markings in total length of 579 km and 30 cold structural plastic road markings in total length of 497,9 km.

Models for predicting the service life of road markings have been developed based on the statistical analysis of the impact of individual factors on the durability of the stated materials used for application of road markings. The developed models have shown a satisfactory accuracy and as such, they can be efficiently used to optimize road maintenance activities, ultimately aimed at increasing road safety and rationalize maintenance costs.

**Key words: road markings, retroreflection, service life, dynamic measurement**

## 1. UVOD

U uvodnom su dijelu doktorske disertacije definirani predmet, svrha i cilj istraživanja, dan je osvrt na dosadašnja istraživanja, naveden i ukratko pojašnjen strukturalni opis disertacije, osnovna hipoteza i korištene znanstvene metode. Također, naveden je i definiran očekivani znanstveni doprinos u polju tehnologija prometa i transporta te očekivane primjene rezultata istraživanja u sustavu održavanja oznaka na kolniku.

### 1.1. Predmet istraživanja

Prometne nesreće predstavljaju značajan društveni problem s obzirom na to da je na cestama Europske unije u 2016. godine smrtno stradalo 25 500 ljudi, a ozlijeđeno je preko 135 000 [1]. Ukupnu je štetu prometnih nesreća vrlo teško procijeniti jer ona ne obuhvaća samo troškove liječenja i materijalnu štetu, već uključuje i neizravnu štetu u vidu: smanjenja mogućnosti privređivanja, gubitka radne sposobnosti, nemogućnosti obavljanja svakodnevnih aktivnosti, izravnih reprodukcijских troškova medicinske ili profesionalne rehabilitacije, neizravnih reprodukcijских troškova policije, sudskih procesa, osiguravajućih društava itd. Procjenjuje se da, ovisno o državama, navedeni gubitci iznose od 1 % pa sve do 3 % bruto domaćega proizvoda [2].

U Republici je Hrvatskoj 2016. godine smrtno stradalo 307 osoba, što predstavlja blagi pad u odnosu na 2015. te relativno manji broj ozlijeđenih osoba (smanjenje od 2,84 % u odnosu na 2015. godinu). U razdoblju od 2006. do 2016. godine na hrvatskim se cestama dogodilo 477 757 prometnih nesreća u kojima je smrtno stradalo 5 013 osoba, teško je ozlijeđena 37 321 osoba, a 166 569 osoba lakše je ozlijeđeno [3]. Iako se u navedenom razdoblju smanjio broj prometnih nesreća, a time i poginulih te ozlijeđenih osoba, RH se još uvijek nalazi u području visokoga broja poginulih osoba promatrano s aspekta broja poginulih na milijun stanovnika.

Iz navedenih je razloga sigurnost prometa jedan od ključnih fokusa europske komisije koja je 2010. godine donijela četvrti Europski akcijski program prometne sigurnosti (engl. *European Road Safety Action Programme*) čiji je glavni zadatak smanjiti broj smrtno stradalih na cestama EU u razdoblju od 2010. do 2020. godine. Program je usredotočen na nekoliko glavnih ciljeva među kojima je i poboljšanje prometne infrastrukture čiji važan element predstavlja i prometna signalizacija u kojoj značajno mjesto zauzimaju oznake na kolniku.

Oznake na kolniku predstavljaju dio prometne signalizacije koji korištenjem i kombinacijom crta, natpisa i simbola oblikuje prometnu površinu te daje informacije vezane uz vizualno

vođenje sudionika u prometu [4]. Od svoje prve dokumentirane uporabe duž *Trenton River* ceste u *Michigani* 1911. godine [5] oznake na kolniku postale su općeprisutan element prometne infrastrukture, a kako su locirane u centralnom vidnom polju vozača, predstavljaju i značajan element sigurnosti cestovnoga prometa. Kako bi oznake mogle učinkovito izvršavati svoju funkciju te time doprinijeti povećanju prometne sigurnosti, one moraju biti odgovarajuće održavane.

Iako je zbog složenosti prometnih nesreća teško u potpunosti odrediti utjecaj kvalitete oznaka na kolniku na učestalost nastanka prometnih nesreća, opće je mišljenje kako su neodgovarajuće i slabo održavane oznake bitan čimbenik koji pridonosi njihovom nastanku. Navedeno potvrđuju i znanstvena istraživanja u studijama [6], [7] i [8] u kojima je dokazano smanjenje broja prometnih nesreća za čak 20 % na cestama s izvedenim i pravilno održanim oznakama na kolniku.

Kako bi se optimizirao sustav održavanja, odnosno kako bi se maksimizirali pozitivni učinci izvođenja oznaka, a minimizirali troškovi, nužno je analizirati prometne, geografske i meteorološke uvjete područja u kojem se cesta nalazi. Primjena odgovarajućih tehnologija i materijala za izvođenje oznaka, u skladu s navedenim uvjetima, može doprinijeti održavanju vozaču odgovarajuće razine vidljivosti, a time će se izravno utjecati na povećanje opće stope prometne sigurnosti.

Izbor će materijala i tehnologije za izvođenja oznaka na kolniku izravno utjecati na njihov životni vijek odnosno trajanje, a time i na vidljivost te na cjelokupne troškove održavanja. Prema autorima u studiji [9] na trajanje oznaka na kolniku utječe niz čimbenika:

- vrsta materijala
- položaj oznake (razdjelne ili rubne)
- starost oznake
- prosječni godišnji dnevni promet (PGDP)
- vrsta, odnosno kategorija ceste
- broj oznaka (linija) na cesti
- vrsta asfaltnoga pokrova na cesti
- dopuštena brzina prometa
- količina soli
- količina abrazivnih sredstava
- količina aktivnosti zimskoga održavanja ceste.

Osim navedenoga, prema znanstvenim istraživanjima [10] i [11], važan su čimbenik i staklene perle čija kvaliteta i količina utječu na vidljivost odnosno retrorefleksiju oznaka na kolniku, a time i na njihovo trajanje. Kvaliteta staklenih perla ovisi o njihovoj granulaciji, indeksu loma, okruglosti te kemijskom premazu koji omogućava čvršće povezivanje perla s materijalom od kojega je oznaka izvedena.

U svrhu povećanja prometne sigurnosti nužno je predvidjeti trajanje same oznake, odnosno trenutka kada ona u određenim prometnim, geografskim i meteorološkim uvjetima više ne zadovoljava minimalne razine vidljivosti koje su potrebne vozačima. Postojeći modeli predviđanja trajanja oznaka na kolniku imaju određena ograničenja ponajprije vezana uz nezadovoljavajuću statističku točnost te neuključivanje svih relevantnih čimbenika, zbog čega je njihova primjena u sustavima održavanja cesta ograničena. Zbog svojih ograničenja postojeći modeli ne omogućavaju optimizaciju sustava održavanja cesta na zadovoljavajućoj razini, i to s gledišta racionalizacije troškova koji su vezani uz obnavljanje oznaka te s gledišta osiguravanja odgovarajuće vidljivosti oznaka koja je potrebna vozačima.

## **1.2. Svrha i cilj istraživanja**

Kako se oznake na kolniku nalaze u centralnom vidnom polju vozača, predstavljaju važan element koji doprinosi sigurnosti prometa. Kako je za sigurnost cestovnoga prometa vidljivost oznaka njihova najvažnija karakteristika, svrha je istraživanja analizirati utjecaj različitih čimbenika kao što su: početna retrorefleksija, prosječni godišnji dnevni promet, vrsta materijala, starost i pozicija oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine na vidljivost različitih materijala za izvođenje oznaka, a time i na njihovo trajanje.

Cilj je istraživanja razviti modele za predviđanje trajanja oznaka na kolniku koji će, za razliku od dosadašnjih razvijenih modela, uključivati utjecaj početne retrorefleksije, utjecaj prosječnoga godišnjega dnevnoga prometa, vrste materijala, starost i poziciju oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine. Svrha je modela proširiti dosadašnja znanstvena saznanja i spoznaje vezane uz oznake na kolniku te njihovom primjenom optimizirati sustav održavanja cesta s gledišta racionalizacije troškova koji su vezani uz obnavljanje oznaka te s gledišta osiguravanja odgovarajuće vidljivosti oznaka koja je potrebna vozačima.

### 1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja

Razvojem i značajnijom primjenom sustava za označavanje kolnika sredinom 60-ih godina započela su se provoditi i znanstvena istraživanja vezana uz oznake. Iako je povijest oznaka na kolniku relativno kratka, s obzirom na ubrzani rast prometnoga sustava i njihov utjecaj na sigurnost prometa broj je znanstvenih istraživanja značajan te obuhvaća problematiku vezanu uz utjecaj oznaka na ponašanje vozača i na sigurnost prometa te trajnost i vidljivost oznaka. Utjecaj je oznaka na ponašanje vozača istraživao s gledišta pozicioniranja vozila unutar kolničkih traka te promjene brzine vožnje ovisno o postojanju oznaka, dok utjecaj oznaka na sigurnost prometa podrazumijeva istraživanja povezanosti oznaka s učestalošću nastanka prometnih nesreća koje su se dogodile zbog izlijetanja vozila s ceste i frontalnih sudara.

Kako je provođenje navedenih istraživanja izrazito složeno te je teško točno odrediti u kojoj mjeri oznake u odnosu na druge elemente ceste i okoline utječu na ponašanje vozača i sigurnost prometa, većina je znanstvenih aktivnosti usmjerena na istraživanje vidljivosti i trajnosti oznaka na kolniku.

Pregled je najznačajnijih istraživanja i njihovih rezultata, koji su vezani uz navedenu problematiku, prikazan u sljedećim poglavljima.

#### *1.3.1. Istraživanja vezana uz utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača*

Utjecaj je oznaka na kolniku na ponašanje vozača uglavnom promatran s gledišta održavanja bočnoga položaja vozila unutar kolničkih traka te promjene brzine vožnje. Dosadašnja su istraživanja pokazala postojanje pouzdanih razlika između bočnoga položaja vozila unutar kolničkih traka na cestama koje su označene oznakama u odnosu na neoznačene ceste.

Autori su u studiji [12] proveli istraživanje u kojem su analizirali ponašanje vozača pri vožnji po ravnom dijelu ceste koja je označena rubnom isprekidanom bijelom linijom širine 10 cm. Nakon toga ista je dionica ceste označena 20 cm širokom bijelom oznakom koja je postavljena bliže rubu ceste. Rezultati studije pokazali su kako su vozači nakon novoga označavanja kolnika promijenili bočni položaj vozila, odnosno kako je njihova putanja vožnje bila bliže rubu ceste, što je dovelo do smanjenja mogućega rizika od frontalnih sudara, a s obzirom na to da su se razmaci između mimoilazećih vozila povećali.

Promjena je u pozicioniranju vozila bliže rubu ceste pri označavanju kolnika središnjim i/ili rubnim linijama zabilježena i u istraživanju provedenom u studiji [13]. Promjene su u bočnom položaju vozila posebno zabilježene na cestama s dvosmjernim prometom, gdje je dokazano sustavno linearno udaljšavanje vozila od središnje linije koje započinje onda kada su vozila



međusobno udaljena između 2,5 i 4 sekunde te se povećava smanjenjem udaljenosti između vozila. Također, istraživanje je zabilježilo povećanje brzine vožnje na cestama s oznakama na kolniku u odnosu na neoznačene ceste. Razlogom je tomu povećanje vozačeva osjećaja sigurnosti pri vožnji cestom s oznakama, a s obzirom na to da oznake pružaju informaciju o putanji ceste te tako omogućavaju ranije uočavanje određenih za sigurnost prometa rizičnih dijelova ceste kao što su npr. zavoji, raskrižja itd.. Međutim, povećanje brzine vožnje nije zabilježeno pri dodavanju rubnih linija na cestama s već postojećom središnjom linijom te na cestama na kojima je središnja linija zamijenjena rubnima.

Osim utjecaja oznaka na ponašanje vozača na ravnim dijelovima ceste nekolicina je autora istraživala njihov utjecaj na ponašanje vozača u zavojima. Analizom utjecaja rubnih oznaka na promjenu brzine vožnje u zavojima autori su u studiji [14] utvrdili kako vozači tijekom vožnje u zavojima voze najsporije na cestama bez rubnih oznaka. Povećanje brzine noću nakon označavanja kolnika rubnim linijama autori su ocijenili pozitivnim jer su iste bile niže u odnosu na zabilježene brzine tijekom vožnje danju.

Opsežnije je istraživanje ponašanja vozača u zavojima provedeno u studiji [15]. Istraživanje je obuhvatilo analizu utjecaja smjerokaznih oznaka/markera (engl. *Raised pavement markings*), poprečnih oznaka za upozoravanje, vibrirajućih oznaka, bočnih stupova i znakova za označavanje zavoja na smanjenje brzine u zavojima. Rezultati su pokazali značajno smanjenje učestalosti prekoračenja središnje linije, odnosno ulaska u voznu traku koja je namijenjena suprotnom smjeru pri uporabi svakoga od navedenih elemenata, ali ne i smanjenje brzine vožnje koje je jedino zabilježeno primjenom znakova za označavanje zavoja.

Autori su u studiji [16] proveli istraživanje na prigradskoj dvosmjernoj cesti u Sjevernoj Virginiji (SAD) koja uključuje oštar lijevi zavoj od oko 90 °. Mjerenjem je brzine utvrđeno ukupno smanjenje prosječne brzine vožnje za oko 6 % te 7 % tijekom dana i u noćnim razdobljima primjenom eksperimentalne oznake koja je s pomoću teksta i strelice upozoravala vozače na nadolazeći zavoj.

Iako je utjecaj oznaka na ponašanje vozača teško točno utvrditi, dosadašnja istraživanja upućuju na to da oznake u određenoj mjeri utječu na ponašanje vozača u vidu promjene bočnoga položaja vozila te brzine vožnje. Može se zaključiti kako na ravnim dijelovima ceste prisutnost oznaka blago povećava brzinu vožnje, dok se brzina u zavojima ne mijenja ili se blago smanjuje. Također, na cestama bez rubnih linija vozači vozilo približavaju bliže središnjoj liniji. Jedan je od razlog tomu činjenica da se središnja linija nalazi na strani vozača odnosno volana. Drugi

razlog može biti taj što kod nedostatka rubne linije vozač nije siguran kolika je širina vozne trake, odnosno gdje prestaje kolnik, stoga vozi bliže središnjoj liniji koja je jasno definirana čime smanjuje vjerojatnost izlijetanja s ceste, no s druge strane povećava rizik od frontalnih sudara [17].

Iz svega se navedenoga može zaključiti kako promjene brzine uz promjene bočnoga pozicioniranja vozila unutar kolničkih traka ukazuju na to kako oznake vozačima tijekom vožnje pružaju sigurnost te im omogućavaju kvalitetnije vizualno vođenje duž cijele dionice ceste.

### ***1.3.2. Istraživanja vezana uz utjecaj oznaka na kolniku na sigurnost prometa***

Istraživanja koja su vezana uz utjecaj oznaka na kolniku na sigurnost prometa povezana su s proučavanjem povezanosti opće prisutnosti oznaka te njihove razine vidljivosti odnosno retrorefleksije na pojavu prometnih nesreća u noćnim uvjetima. Opće je uvjerenje koje prevladava u znanstvenoj i stručnoj zajednici koja se bavi navedenom problematikom kako postoji negativna korelacija, odnosno kako prisutnošću oznaka te porastom njihove retrorefleksije dolazi do smanjenja broja prometnih nesreća koje su nastale u noćnim uvjetima.

Jedno je od prvih takvih istraživanja provedeno 1981. godine, a cilj je bio analizirati utjecaj poboljšanja oznaka na kolniku na prometnu sigurnost. Pod poboljšanjem oznaka podrazumijevalo se dodavanje središnjih i/ili rubnih linija na kolnik. Usporedbom broja prometnih nesreća s ozlijeđenima i/ili smrtno stradalima prije i poslije poboljšanja oznaka na kolniku zaključeno je kako se broj prometnih nesreća s ozlijeđenima i/ili smrtno stradalima statistički značajno smanjio (od 3 % do 16 % ovisno o načinu poboljšanja oznaka) [18].

U sklopu *National Cooperative Highway Research Program* 2002. godine provedena je studija s ciljem utvrđivanja kako trajnost i retrorefleksija oznaka utječu na prometne nesreće. U prvoj su etapi analizirane lokacije s oznakama koje su izvedene bojom na bazi otapala (ukupno 48 lokacija) te epoksi bojom (ukupno 7 lokacija). U drugoj su etapi studije izvedene nove oznake primjenom dugotrajnijih materijala na 55 lokacija. Na svim je lokacijama uzeta u obzir duljina dionice, vrijeme provođenja studije (u danima), prosječan godišnji dnevni promet te udio godišnjega dnevnoga prometa tijekom dnevnih, noćnih, suhih i mokrih uvjeta. Rezultati su pokazali kako se broj prometnih nesreća u noćnim uvjetima nakon obnavljanja oznaka smanjio za 6 % [19].

Autori su u studiji [20] proveli „prije i poslije” analizu utjecaja dodavanja rubnih oznaka na sigurnost prometa na dvotračnoj cesti u Teksasu. U skladu s rezultatima studije autori su

zaključili kako ceste bez rubnih oznaka na kolniku imaju 11 % veći rizik od pojave prometnih nesreća u odnosu na ceste s rubnim linijama. Također, prisutnost je rubnih oznaka pokazala pozitivne učinke na sigurnost prometa u noćnim uvjetima te u uvjetima smanjene vidljivosti.

U studiji koja je provedena 2006. godine na Novom Zelandu analiziran je utjecaj retrorefleksije oznaka na kolniku na pojavu prometnih nesreća, odnosno na sigurnost prometa. Zaključak je studije kako nema statistički značajne korelacije između broja prometnih nesreća i retrorefleksije oznaka [21].

Slično je istraživanje provedeno i u studiji [22] gdje je zaključeno kako je razlika u prometnoj sigurnosti u noćnim uvjetima na cestama s visokom retrorefleksijom oznaka, u odnosu na ceste s niskom retrorefleksijom, približno jednaka nuli.

Mješoviti su rezultati dobiveni su u studiji [23] gdje je zaključeno kako oznake s niskom retrorefleksijom nisu povezane s većim brojem prometnih nesreća, no oznake s retrorefleksijom većom od 200 mcd/lx/m<sup>2</sup> imaju negativnu korelaciju s brojem prometnih nesreća. Međutim, autori zaključuju kako je navedena korelacija premala kako bi imala važniji značaj s praktične strane.

Navedene tri studije, [21], [22] i [23], imaju i određena ograničenja koja u konačnici utječu na njihove rezultate. U novozelandskoj su studiji [21] autori tijekom analize uzimali u obzir i ceste na kojima su smjerokazne oznake odnosno retroreflektirajući markeri (*engl. Raised Reflective Pavement Markers-RRPM*). U drugoj studiji [22] retrorefleksija oznaka korištena u analizi nije mjerena, već je modelirana, zbog čega su moguća odstupanja i pogreške, dok je u trećoj studiji retrorefleksija oznaka mjerena na području dugačkom oko 60 m. Prosječna je retrorefleksija mjerena u tom području uzeta kao referentna za cijelu jednu dionicu dugačku oko 8 km. Kako retrorefleksija može varirati unutar nekoliko metara, moguće je da su vrijednosti retrorefleksije koje su korištene u studiji neusklađene sa stvarnim stanjem. Kao ograničenje u trećoj studiji [23] autor naglašava manjak cjelovitih podataka o prometnim nesrećama.

Nastavak je studije [23] proveden 2010. godine na temelju podataka o retrorefleksiji oznaka iz prethodnih pet godina te podataka o 1 343 prometne nesreće. Zaključeno je kako je retrorefleksija oznaka značajan čimbenik koji utječe na vjerojatnost nastanka prometnih nesreća kada su u obzir uzeti samo podatci s međudržavnih cesta te kada su podatci podijeljeni u tri podskupa podataka prema tipu linija, a to su: bijele rubne linije, žute rubne linije te žute središnje linije. U konačnici, analizom bijelih rubnih i žutih središnjih oznaka došlo se do

zaključka kako vjerojatnost nastanka prometnih nesreća raste onda kada pada vrijednost retrorefleksije oznaka [24].

Godine 2013. provedeno je istraživanje koje je uzimalo u obzir samo prometne nesreće koje su se dogodile tijekom noći na dijelovima ceste na kojima nije bilo raskrižja te za vrijeme suhih uvjeta, odnosno suhoga kolnika. Prometne nesreće koje su autori uzeli u obzir pri analizi bile su isključivo nesreće koje su se dogodile tijekom noći i to: one koje su uključivale samo jedno vozilo bez ozlijeđenih ili smrtno stradalih, nesreće sa smrtno stradalima i ozlijeđenima te nesreće koje su uključivale jedno vozilo sa smrtno stradalima i ozlijeđenima. Rezultati istraživanja podupiru pretpostavku o pozitivnom utjecaju retrorefleksije oznaka na kolniku na sigurnost u prometu [25].

U studiji koja je objavljena 2014. godine s ciljem utvrđivanja korelacije između retrorefleksije oznaka na kolniku i prometnih nesreća u noćnim uvjetima zaključeno je kako statistički značajna korelacija postoji te kako će mjesta s višom retrorefleksijom biti povezana s manje prometnih nesreća u odnosu na mjesta s nižom retrorefleksijom oznaka na kolniku. Također, lokacije s nižom retrorefleksijom središnjih linija, u odnosu na retrorefleksiju rubnih linija na istim cestama, povezane su s učestalijom pojavom prometnih nesreća [26].

Najnovije je istraživanje objavljeno 2016. godine. U njemu su autori istražili utjecaj duljine dionice ceste, vrste oznaka te vrijednosti njihove retrorefleksije na učestalost događanja prometnih nesreća. Rezultati istraživanja pokazuju kako analiza kraćih dionica ceste i stvarnih izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka dovodi do statistički značajnije korelacije između retrorefleksije oznaka i broja prometnih nesreća te kako je očekivani godišnji broj prometnih nesreća znatno smanjen s povećanjem retrorefleksije bijelih i žutih rubnih linija. Rezultati također upućuju na to kako održavanje oznaka na kolniku ima značajne pozitivne učinke na sigurnost prometa [27].

Iako dosadašnja istraživanja utjecaja retrorefleksije oznaka na pojavu prometnih nesreća imaju miješane i međusobno suprotne rezultate, prevladava mišljenje kako retrorefleksija oznaka na kolniku ima pozitivan utjecaj na sigurnost prometa. Zbog složenosti samih prometnih nesreća te niza čimbenika koji doprinose nastajanju istih, određivanje točnoga utjecaja retrorefleksije oznaka na sigurnost prometa predstavlja složenu zadaću, stoga su potrebna daljnja istraživanja kako bi se bolje razumjelo na koji način i koliko razina retrorefleksije oznaka utječe na sigurnost prometa.

### 1.3.3. Istraživanja vezana uz vidljivost oznaka na kolniku

Istraživanja vezana uz vidljivost oznaka na kolniku usmjerena su utvrđivanju maksimalne udaljenosti uočavanja oznaka te određivanju minimalnih razina retrorefleksije koja je potrebna vozačima u suhim i mokrim uvjetima.

Znanstvena su istraživanja dokazala kako se maksimalna udaljenost uočavanja oznaka na kolniku povećava s povećanjem njihove retrorefleksije, ali neproporcionalno [28] [29]. Tako su, u skladu s rezultatima navedenih istraživanja, oznake retrorefleksije 100 mcd/lx/m<sup>2</sup> u prosjeku vidljive s 91,44 m, dok su oznake retrorefleksije 300 mcd/lx/m<sup>2</sup> vidljive u prosjeku s 121,92 m.

Značajno je više znanstvenih istraživanja vezanih uz vidljivost oznaka na kolniku koje su usmjerene k određivanju minimalnih razina retrorefleksije koje su potrebne vozačima u suhim i mokrim uvjetima. Autor *Graham* i drugi (1996.) prikazali su u studiji [30] rezultate terenskoga istraživanja koje su proveli kako bi utvrdili subjektivnu razinu retrorefleksije koja je potrebna starijim vozačima pri vožnji s kratkim svjetlima. Ukupno je ispitano 65 ispitanika u dobi od 20 do 89 godina tako da su se ocjenjivala 24 segmenta ceste pri čemu su vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku svakoga segmenta bile različite. Rezultati su studije pokazali kako je više od 85 % ispitanika starijih od 60 godina ocijenilo retrorefleksiju od 100 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao minimalnu odnosno dovoljnu.

Autori *Zwahlen* i *Schnell* u studiji [31] proveli su istraživanje čiji je cilj bio testirati i potvrditi hipotezu kako vozači prilagođavaju svoje „prostorno skeniranje” (engl. *Spatial Scanning Behavior*) i brzinu vožnje u funkciji vidljivosti oznaka na kolniku. Studija je provedena na četirima ruralnim dvotračnim cestama na kojima su u prvom dijelu istraživanja oznake bile postojeće (stare), a u drugom su dijelu iste obnovljene. Rezultati upućuju na to kako vozači imaju vrlo kratka vremena trajanja pogleda te kako ne smanjuju brzinu vožnje u uvjetima niske vidljivosti (kod postojećih oznaka) u usporedbi s brzinama pri višim razinama vidljivosti (kod obnovljenih oznaka). Međutim, vozačima se sustavno i dosljedno smanjuje longitudinalna (uzdužna) udaljenost fiksacija pogleda u uvjetima niže vidljivosti oznaka.

Isti su autori korištenjem računalnoga simulatora (engl. *Computer Aided Road Marking Visibility Evaluator*) utvrdili kako postoji značajna razlika u subjektivnim ocjenama minimalnih razina retrorefleksije između mladih i starijih vozača [32].

Slična su istraživanja koja su vezana uz subjektivne ocjene minimalnih vrijednosti retrorefleksije proveli autori u studijama [33], [34] te [35]. Rezultati navedenih studija

predstavljaju vrijednosti retrorefleksije od 120, 150 i 130 – 140 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao minimalne koje su potrebne vozačima za sigurnu vožnju.

Osim navedenih studija kojima je cilj bio određivanje minimalnih vrijednosti retrorefleksije u suhim uvjetima, niz je istraživanja provedeno s ciljem dobivanja uvida o potrebama vozača u mokrim noćnim uvjetima.

Autori su u studiji [36] proveli istraživanje koje se temelji na subjektivnom ocjenjivanju vidljivosti oznaka koje su izvedene od četiriju različitih materijala uz simulirane kišne uvjete. U skladu s rezultatima istraživanja autori predlažu 150 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao minimalnu vrijednost retrorefleksije uz ograničenje brzine 90 km/h u suhim uvjetima te 60 km/h u mokrim uvjetima. Navedeni je minimum jednak za oznake bijele i žute boje.

Istraživanje je retrorefleksije različitih materijala za oznake na kolniku u mokrim uvjetima prikazano u studiji [37]. Rezultati su istraživanja pokazali da trake kao materijal za izradu oznaka na kolniku imaju najbolju vidljivost te najveću udaljenost detekcije u mokrim uvjetima. Slične rezultate imaju i termoplastični materijali, dok su najlošije boje. Također, autori su utvrdili postojanje logaritamsko-linearnoga odnosa između udaljenosti detekcije i vrijednosti retrorefleksije.

Evaluaciju su vidljivosti oznaka na kolniku sa specijalno dizajniranim retroreflektirajućim materijalima (staklenim perlama) za mokre uvjete proveli autori u studiji [38]. Studija je uključivala tri tipa retroreflektirajućih materijala na bojanim oznakama i na oznakama koje su izvedene trakom. Svi su navedeni sustavi testirani tijekom noći u suhim, mokrim te kišnim uvjetima. Za potrebe je istraživanja angažirano 30 ispitanika čija je zadaća bila voziti simuliranom zatvorenom stazom na kojoj su simulirani radovi na cesti. U mokrim su uvjetima sve tri vrste staklenih perla na obama materijalima (i bojama i trakama) zadržavale između 60 % i 80 % njihove prosječne dnevne udaljenosti uočavanja, dok je tijekom kišnih uvjeta prosječna udaljenost uočavanja pala između 50 % i 70 % njihove prosječne dnevne udaljenosti uočavanja. U usporedbi s time standardni su retroreflektirajući materijali na bojanim oznaka u istim uvjetima zadržavali između 17 % i 28 % svoje prosječne dnevne uočljivosti.

Iz dosadašnjih istraživanja koja su vezana uz vidljivost oznaka na kolniku može se zaključiti kako je retrorefleksija oznaka u suhim uvjetima znatno viša u odnosu onu u mokrim uvjetima. U mokrim uvjetima sloj vode prekrije retroreflektirajuće materijale zbog čega se svjetlost lomi pri prolasku kroz vodu te se tako umanjuje sam efekt retrorefleksije.

Iako je potrebno još dodatnih istraživanja koja će umjesto subjektivnoga ocjenjivanja minimalnih razina retrorefleksije koristiti sofisticirane metode prikupljanja podataka koji su vezani uz vozačevo ponašanje i njegov osjećaj sigurnosti, općenito se može zaključiti kako se minimalna razina retrorefleksije koja je potrebna vozačima kreće između 100 i 150 mcd/lx/m<sup>2</sup> u suhim uvjetima te oko 150 mcd/lx/m<sup>2</sup> u mokrim uvjetima.

#### ***1.3.4. Istraživanja vezana uz predviđanje trajanja oznaka na kolniku***

Osim retrorefleksije osnovni je parametar za usporedbu i ocjenjivanje kvalitete oznaka na kolniku njihova trajnost koja izravno utječe na vidljivost te na raspored obnavljanja oznaka, a time i na cjelokupne troškove održavanja. Autori u studiji [39] predlažu mjerenje trajnosti oznaka određivanjem postotka materijala koji ostaje na površini ili neposredno ispitivanjem snage veze između materijala i površine. Na trajanje oznaka na kolniku, prema autorima studije [9], utječu: vrsta materijala, položaj oznake (razdjelne ili rubne), starost oznake, prosječni godišnji dnevni promet (PGDP), vrsta/kategorija ceste, broj oznaka (linija) na cesti, vrsta asfaltnoga pokrova na cesti, dopuštena brzina prometa, količina soli, količina abrazivnih sredstava te količina aktivnosti zimskoga održavanja ceste.

Osim navedenoga, prema znanstvenim istraživanjima u studijama [10] i [11] važan su čimbenik i staklene perle čija kvaliteta i količina utječu na vidljivost, odnosno retrorefleksiju oznaka na kolniku, a time i na njihovo trajanje. Kvaliteta staklenih perla ovisi o njihovoj granulaciji, indeksu loma, okruglosti te kemijskom premazu koji omogućava čvršće povezivanje perla s materijalom od kojega je oznaka izvedena.

Tijekom posljednjih dvaju desetljeća različiti su autori razvili niz modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku. Čimbenici kao što je prosječni godišnji dnevni promet (PGDP), inicijalna retrorefleksija<sup>1</sup>, vrsta i boja materijala, vrsta retroreflektirajućega materijala, karakteristike regije u kojoj se cesta nalazi, stanje kolnika te pozicija oznake na kolniku uzeti su u obzir pri analizi i razvoju modela.

Jedno je od prvih istraživanja koje je vezano uz trajanje oznaka na kolniku provedeno 1997. godine [40]. Na temelju komparativne analize boja i traka za izvođenje oznaka na kolniku autori zaključuju kako postoji utjecaj starosti materijala, prosječnoga godišnjega dnevnoga prometa (PGDP) i vrste kolnika na retrorefleksiju odnosno trajanje oznaka. Svaka se od navedenih

---

<sup>1</sup> Inicijalna je retrorefleksija retrorefleksija oznaka nakon njihova izvođenja.

varijabla u istraživanju pokazala značajnom pri čemu je odnos između nezavisne i zavisne varijable hiperbolički.

Na temelju zaključaka iz studije [40] *Andrady* [41] je razvio model trajanja bojanih i termoplastičnih oznaka na kolniku pri čemu trajanje bojanih oznaka iznosi 18,8 mjeseci, a termoplastičnih u rasponu od 7,8 do 40,6 mjeseci. Dobiveni je model prikazan u izrazu (1), a retrorefleksija oznake modelirana je kao funkcija vremena:

$$T_{100} = 10^{(R_0 - 100)/b} \quad (1)$$

gdje je:

- $T_{100}$  – vremenski period u mjesecima za dostizanje razine retrorefleksije od 100 mcd/lx/m<sup>2</sup> (dani)
- $R_0$  – procijenjena inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $b$  – polulogaritamski gradijent retrorefleksije.

Autori su u studiji [42] proveli istraživanje čija je svrha bila utvrditi stope degradacije za najčešće korištene materijale za izvođenje oznake na kolniku u *Michiganu*, a to su boje, termoplastika i trake. Degradacija je navedenih materijala modelirana linearno s iznimno malom točnošću ( $R^2$ ) između 0,14 i 0,18. Zaključno je utvrđeno kako je prosječni pad retrorefleksije svih materijala 0,14 % po danu te kako boje na bazi vode predstavljaju najisplativiju varijantu izvođenja oznaka na kolniku. Dobiveni su modeli prikazani sljedećim izrazima:

$$\text{Vodene boje: } Y = -0,4035 X + 279,42 \quad (2)$$

$$\text{Termoplastika: } Y = -0,3622 X + 254,82 \quad (3)$$

$$\text{Trake: } Y = -0,3564 X + 256,53 \quad (4)$$

$$\text{Opći model (za sve materijale): } Y = -0,6101 X + 313,61 \quad (5)$$

gdje je:

- $Y$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $X$  – starost oznake u danima.

U studiji [43] sažeti su rezultati četverogodišnjega istraživanja koje je vezano uz predviđanje trajanja različitih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Vrijeme je trajanja pojedinih materijala variralo ovisno o geografsko-prometnim uvjetima u kojima se oznaka nalazila, a prosječna su trajanja u mjesecima sljedeća:

- boje na bazi vode i epoksi boja: 10,4 mj. te 23,0 mj.



- termoplastika: 26,2 mj.
- poliureatski materijali: 24,7 mj.

Na temelju kumulativnoga broja prometnih prolaza (engl. *Cumulative Number of Traffic Passages – CTP*) kao primarne varijable kvantificiran je odnos između koeficijenta retrorefleksije i kumulativnoga broja prometnih prolaza korištenjem različitih modela kao što su linearni i eksponencijalni. Opći su oblici modela prikazani u sljedećim izrazima:

$$\text{Linearni model: } R_L = a + (b * CTP) \quad (6)$$

$$\text{Eksponencijalni model: } R_L = a * e^{(b*CTP)} \quad (7)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $a$  – inicijalna vrijednost retrorefleksije (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $CTP$  – kumulativni broj prometnih prolaza
- $b$  – numerički koeficijent CTP-a.

Analizu su trajnosti vodenih boja i termoplastike proveli 2002. godine autori u studiji [44]. Koristeći 150 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao minimalnu razinu retrorefleksije autori su razvili logaritamske modele za predviđanje trajanja oznaka na kolniku kao funkcije količine prometa. Koeficijenti determinacije ( $R^2$ ) modela iznose između 0,31 (za vodene boje) i 0,58 (za termoplastiku). Dobiveni su modeli prikazani u izrazima (8) i (9):

$$\text{Vodne boje: } R_L = -19,457 \ln (VE) + 26,27 \quad (8)$$

$$\text{Termoplastika: } R_L = -70,806 \ln (VE) + 639,66 \quad (9)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $VE$  – izloženost oznake vozilima (u tisućama vozila).

Analiza je ravnih i profiliranih termoplastičnih oznaka na kolniku provedena u studiji [45]. Cilj je istraživanja bio usporediti trajanje navedenih oznaka, njihove troškove održavanja, utjecaj na sigurnost te vidljivost u mokrim uvjetima. Rezultati su istraživanja pokazali kako kumulativni broj prometnih prolaza ima veću povezanost s retrorefleksijom oznake nego sama starost oznake. Na temelju navedenih rezultata istraživanja predloženi su linearni i eksponencijalni modeli zasebno za ravne te za profilirane termoplastične oznake:

$$\text{Linearni model za ravne termoplastične oznake: } R_L = 310 + 31,1 * CTP \quad (10)$$

$$\text{Eksponencijalni model za ravne termoplastične oznake: } R_L = 329 * e^{(-0,16*CTP)} \quad (11)$$

$$\text{Linearni model za profilirane termoplastične oznake: } R_L = 239 + 28,9 * CTP \quad (12)$$

$$\text{Eksponecijalni model za profilirane termoplastične oznake: } R_L = 244 * e^{(-0,16*CTP)} \quad (13)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $CTP$  – kumulativni broj prometnih prolaza.

Autori su u studiji [46] razvili po dva modela za epoksi i termoplastične materijale, bijele i žute boje, koja su izvedena na asfaltnim i betonskim kolnicima. Prvi je model nelinearni, njime su autori predviđali vrijednost retrorefleksije oznaka u kratkom periodu nakon izvođenja u kojem retrorefleksija blago raste. Drugi je model linearni i predstavlja degradaciju retrorefleksije tijekom dužega perioda životnoga vijeka oznaka. Čimbenici koji potencijalno utječu na degradaciju retrorefleksije odnosno trajanje oznaka na kolniku analizirani u ovom istraživanju bili su: boja i vrsta materijala oznaka, vrsta kolničke površine te prosječni godišnji dnevni promet. Od navedenih varijabla jedino se volumen prometa pokazao kao statistički nevažna varijabla. Točnost samih modela varira između 0,19 i 0,78 ovisno o kombinaciji materijala, boje i kolničke podloge. Prosječni koeficijent determinacije prvoga nelinearnoga modela iznosi 0,46, dok drugoga linearnoga modela iznosi 0,30.

Istraživanje je degradacije retrorefleksije odnosno trajanja bijelih i žutih oznaka na kolniku koje su izvedene bojama na bazi otapala te vode provedeno u studiji [47]. Rezultat studije predstavljaju linearni, logaritamski i eksponencijalni modeli degradacije retrorefleksije navedenih oznaka za svaku zasebnu lokaciju istraživanja uz minimalnu razinu retrorefleksije postavljenu na 100 mcd/lx/m<sup>2</sup>. Studija je također pokazala kako degradacija retrorefleksije oznaka na cestama sa sličnim prosječnim godišnjih dnevnim prometom te vremenskim uvjetima značajno varira. Kao razloge varijacija autor navodi: različitosti u metodama izvođenja oznaka, opremi i stručnosti izvođača oznaka, varijabilnost točnosti uređaja za mjerenje retrorefleksije, probleme vezane uz točnost kalibracije uređaja te nekozistentnost mjerenja retrorefleksije. Iako je u studiji razvijeno niz modela, njihova je točnost za većinu modela slaba te značajno varira (između 0,033 i 0,732). Prosječan koeficijent determinacije oznaka bijele boje koje su izvedene bojama na bazi otapala iznosi 0,35, dok oznaka koje su izvedene istim materijalom žute boje iznosi 0,50. Točnost je modela za predviđanje degradacije vodenih boja još slabija pa tako za bijele oznake iznosi 0,31, a za žute 0,11.

Autori su u studiji [48] primjenom metoda „smoothing spline” i „time series” razvili modele degradacije termoplastičnih materijala, traka te vodenih boja u kojima je retrorefleksija funkcija

vremena. Iz rezultata i usporedbe modela autori zaključuju kako, uz nekoliko iznimaka, obje metode zadovoljavajuće predviđaju degradaciju retrorefleksije oznaka za budućih šest mjeseci. Uspoređujući dvije metode koje su korištene u istraživanju dolazi se do zaključka kako metoda „time series” preciznije predviđa retrorefleksiju za kraća razdoblja (do tri mjeseca). Iako autori smatraju kako modeli imaju zadovoljavajuću točnost, ograničenje je istraživanja, kao što i sami autori navode, u tome što modeli koji uključuju i druge čimbenike koji utječu na trajanje oznaka (kao što su utjecaj zimske službe, pozicija oznake, volumen prometa itd.) nisu razvijeni, već je dobivena opća metodologija za predviđanje degradacije retrorefleksije oznaka na kolniku.

Logaritamske modele predviđanja retrorefleksije epoksi boje, termoplastičnih i poliurea oznaka izradili su autori u studiji [49]. Podatci su prikupljeni tijekom triju godine na 25 novih cesta od kojih je 19 bilo izvedeno termoplastikom, pet poliureom te jedna epoksi bojom. Retrorefleksija je modelirana kao funkcija volumena prometa, vremena (starosti oznake) te karakteristika geografskih regija u kojima se nalaze analizirane ceste. U istraživanju je utvrđeno kako volumen prometa ima značajan utjecaj te kako je u toplijim geografskim regijama stopa degradacije niža u odnosu na relativno hladnija područja. Također, starost oznake te aktivnosti zimske službe pokazale su se kao najutjecajnije čimbenici na degradaciju retrorefleksije. Iako dobiveni modeli imaju relativno zadovoljavajuću točnost ( $R^2$  između 0,53 i 0,87 ovisno o materijalu), upitna je njihova praktična primjena jer je u konačnim modelima retrorefleksija modelirana isključivo kao funkcija vremena odnosno starosti oznake. Čimbenici kao što su volumen prometa, karakteristike geografskih regija i aktivnosti zimske službe analizirani su i uspoređivani zasebno tako da se npr. degradacija retrorefleksije oznaka modelirala zasebno za ceste sa zimskim održavanjem i za one bez zimskoga održavanja. Zatim se stopa degradacije navedenih oznaka međusobno uspoređivala kako bi se utvrdila važnost utjecaja zimske službe na degradaciju oznaka. Na isti su način analizirani i ostali čimbenici te njihov utjecaj u konačnici nije određen (ponderiran) niti primijenjen u konačnom modelu.

Autori su u studiji [50] razvili linearne modele za bojane i termoplastične oznake u kojima je retrorefleksija funkcija vremena, prosječnoga godišnjega dnevnoga prometa, boje oznake te lokacije oznake (rubna ili središnja oznaka). Iako je točnost modela relativno zadovoljavajuća ( $R^2$  iznosi 0,60 za termoplastiku te 0,75 za boju), modeli nisu prošli *Shapiro-Wilk* test normalne distribucije podataka, stoga su statistički upitni što ograničava njihovu primjenu. Dobiveni su modeli prikazani u sljedećim izrazima:

$$\text{Boje: } R_L = 55,2 + 0,77 * R_{L\text{initial}} - 4,17 * \text{time} \quad (14)$$

$$\text{Termoplastika: } R_L = 190 + 0,39 * R_{Linitial} - 2,09 * time - 0,0011 * AADT + 20,7 * X_1 - 20,7 * X_2 + 19 * X_3 - 19 * X_4 \quad (15)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linitial}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $time$  – starost oznake (dani)
- $AADT$  – prosječni godišnji dnevni promet
- $X_1$  – 1 ukoliko je oznaka rubna, 0 ako nije
- $X_2$  – 1 ukoliko je oznaka razdjelna, 0 ako nije
- $X_3$  – 1 ukoliko je oznaka bijele boje, 0 ako nije
- $X_4$  – 1 ukoliko je oznaka žute boje, 0 ako nije.

Osim navedenoga, autori u studiji [50] zaključuju kako je trajanje termoplastičnih oznaka na kolniku za ceste s prosječnim godišnjim dnevnim prometom od 10 000 vozila po danu između 5,4 i 8,75 godina, ovisno o boji i lokaciji oznake. Trajanje oznaka koje su izvedene bojom pokazalo se duže nego u prijašnjim istraživanjima te je njihovo prosječno trajanje iznosilo oko dvije godine.

Mješoviti je linearni model (engl. *Linear Mixed Effects Model*) degradacije retrorefleksije bojanih bijelih rubnih i žutih središnjih oznaka na kolniku razvijen u studiji [51]. Rezultati su istraživanja pokazali kako bijele rubne oznake imaju prosječno trajanje 37,5 mjeseci, a žute središnje oznake 38,9 mjeseci. Dobiveni je model prikazan u izrazu (16):

$$R_L = (fintercept + rintercept_i) + (fslope + rslope_i) * time \quad (16)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $fintercept, rintercept_i, fslope, rslope_i$  – koeficijenti modela
- $time$  – starost oznake (dani).

Koeficijenti su modela  $fintercept$  i  $fslope$  jednaki za sve oznake, dok su koeficijenti  $rintercept_i$  i  $rslope_i$  zasebni. U skladu s tim svaka cesta ima svoje koeficijente modela.

Primjenom mješovitoga linearnoga modela u koji je uključena i inicijalna retrorefleksija kao čimbenik modela dobiven je konačni model predviđanja trajanja oznaka (s točnošću  $R^2 = 0,678$ ) koji za bijele rubne oznake glasi:

$$R_L = 129 + 0,534 * R_{Linitial} - 0,163 * time \quad (17)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $R_{L_{initial}}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $time$  – starost oznake (dani).

Prvi je model predviđanja trajanja bojanih oznaka na kolniku koji je uključivao aktivnosti zimske službe razvijen u studiji [52]. Rezultati su istraživanja pokazali kako svaka aktivnost zimske službe (raljenje snijega) umanjuje degradaciju oznaka na kolniku za  $3,22 \text{ mcd/lx/m}^2$ , što ukupno smanjuje trajanje oznaka za više od mjesec dana. Također, PGDP je, iako slab, imao statistički značajan utjecaj na degradaciju oznaka na kolniku. Dobiveni je model (s točnošću  $R^2 = 0,76$ ) prikazan u izrazu (18):

$$R_L = 65,5 + 0,72 * R_{L_{initial}} - 2,55 * t - 3,22 * s - 0,0005 * AADT \quad (18)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $R_{L_{initial}}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $t$  – starost oznake (dani)
- $s$  – broj aktivnosti zimske službe
- $AADT$  – prosječni godišnji dnevni promet.

Autori su u studiji [53] razvili model trajanja vodenih i epoksi boja, poliurea te termoplastičnih oznaka na kolniku. Oznake su za potrebe istraživanja bile izvedene kao uzdužne i poprečne. Istraživanje je rezultiralo eksponencijalnim modelom predviđanja trajanja oznaka za svaki tip materijala u kojem je retrorefleksija funkcija vremena i tipa podloge:

$$\frac{L_t}{L_0} = \exp\left(b_o + b_1 \frac{T_0}{T_t} + b_2 t\right) \quad (19)$$

gdje je:

- $L_t$  – retrorefleksija uzdužnih oznaka na kolniku u vremenu  $t$  ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $L_0$  – inicijalna retrorefleksija uzdužnih oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $T_t$  – retrorefleksija poprečnih oznaka na kolniku u vremenu  $t$  ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $T_0$  – inicijalna retrorefleksija uzdužnih oznaka na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $t$  – starost oznake (dani)
- $b_o, b_1, b_2$  – koeficijenti modela.

Iako je točnost ( $R^2$ ) modela zadovoljavajuća varirajući između 0,6411 i 0,9845, ovisno o tipu materijala i podloge, nedostatak je istraživanja, kao što autori navode, vezan uz ograničen broj

čimbenika koji su uključeni u model. Kako je istraživanje provedeno na dvama, u te svrhe primijenjenima, testnim poljima, model je uključivao samo starost oznake, vrstu materijala te vrstu kolničke podloge, stoga je praktična primjena modela upitna i ograničena.

Iz detaljne je analize dosadašnjih istraživanja koja su vezana uz predviđanje trajanja oznaka na kolniku vidljivo kako većina navedenih modela ima relativno niske koeficijente determinacije ( $R^2$ ), što znači da su pogreške modela visoke. Čak i modeli s visokim  $R^2$  kao u studijama [50], [51] i [52] ili imaju statistički značajne nedostatke, ili ne omogućuju modeliranje trajanja svih najkorištenijih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Također, dosadašnji modeli ne uzimaju u obzir sve čimbenike koji utječu na degradaciju retrorefleksije iz čega se može zaključiti kako dosadašnja istraživanja imaju slabosti koje ograničavaju njihovu primjenu u sustavima održavanja cesta.

Kronološki je prikaz dosadašnjih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku i njihovih karakteristika prikazan u Tablici 1.

Tablica 1. Kronološki prikaz dosadašnjih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku

Godina	Autor	Materijal	Čimbenici	Model
1997.	Andrady	Termoplastika	Starost oznake, inicijalna retrorefleksija	Logaritamski R <sup>2</sup> nedostupan
1999.	Lee i dr.	Vodene boje, termoplastika, trake	Starost oznake	Linearni R <sup>2</sup> između 0,14 i 0,18
2001.	Migletz i dr.	Vodene boje, termoplastika, poliureatski materijali, epoksi boja	Kumulativni broj prometnih prolaza, inicijalna retrorefleksija	Linearni i eksponencijalni R <sup>2</sup> nedostupan
2002.	Abboud & Bowman	Vodene boje, termoplastika	Izloženost oznake vozilima (u tisućama vozila)	Logaritamski R <sup>2</sup> između 0,31 i 0,58
2003.	Lindly & Wijesundera	Termoplastika	Kumulativni broj prometnih prolaza	Linearni i eksponencijalni R <sup>2</sup> između 0,53 i 0,67
2003.	Sarasua i dr.	Termoplastika, epoksi boje	Boja oznake, vrsta materijala, PGDP, starost oznake, vrsta podloge	Linearni i nelinerani R <sup>2</sup> između 0,19 i 0,78
2004.	Kopf	Vodena boja i boja na bazi otapala	Boja oznake, PGDP, starost oznake	Linearni, logaritamski i eksponencijalni R <sup>2</sup> između 0,033 i 0,732
2006.	Zhang & Wu	Vodene boje, termoplastika, trake	Starost oznake	„smoothing spline”, „time series” R <sup>2</sup> nedostupan
2007.	Fitch&Ahearn	Termoplastika, epoksi boje, poliureatski materijali	Starost oznake, PGDP, karakteristike geografskih regija	Logaritamski R <sup>2</sup> između 0,53 i 0,87
2009.	Sitzabee i dr.	Boje, termoplastika	Starost oznake, PGDP, inicijalna retrorefleksija, boja i lokacija oznake	Linearni R <sup>2</sup> između 0,60 i 0,75
2011.	Hummer i dr.	Boje na bazi otapala	Starost oznake, inicijalna retrorefleksija	Mješoviti linearni R <sup>2</sup> = 0,678
2012.	Mull&Sitzabee	Boje na bazi otapala	Starost oznake, PGDP, inicijalna retrorefleksija, aktivnosti zimske službe	Linearni R <sup>2</sup> = 0,76
2015.	Pike i dr.	Vodene i epoksi boje, poliureatski materijali, termoplastika	Starost oznake, inicijalna retrorefleksija	Eksponencijalni R <sup>2</sup> između 0,64 i 0,98

Iz navedenoga se može zaključiti sljedeće:

- Postoji neujednačenost u rezultatima dosadašnjih istraživanja što upućuje na činjenicu kako je potrebna cjelovitija analiza utjecaja pojedinih čimbenika na trajanje oznaka.
- Većina dosadašnjih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku ima relativno niske koeficijente determinacije (R<sup>2</sup>), odnosno slabu točnost predviđanja.
- Modeli s visokim R<sup>2</sup> ili imaju statistički značajne nedostatke, ili ne omogućavaju modeliranje trajanja svih najkorištenijih materijala za izvođenje oznaka na kolniku.
- Dosadašnji modeli ne uzimaju u obzir sve čimbenike koji utječu na degradaciju retrorefleksije.

- Oprema i metodologija mjerenja retrorefleksije oznaka na kolniku uvelike utječe na rezultate, a time i na konačni model predviđanja trajanja oznaka, stoga je nužna primjena suvremenih metodologija i instrumenata pri provođenju istraživanja kako bi se osigurala objektivnost i relevantnost rezultata.

#### **1.4. Osnovna hipoteza**

Cilj je istraživanja razviti modele za predviđanje trajanja oznaka na kolniku koji će, za razliku od dosadašnjih razvijenih modela, analizirati utjecaj relevantnih čimbenika kao što su: početna retrorefleksija, prosječni godišnji dnevni promet, vrsta materijala, starost i lokacija oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine. Predviđanje će trajanja oznaka na kolniku biti izvedeno za različite vrste materijala od kojih se oznake na kolniku izvode. Za pouzdan će izračun prostornih i vremenskih varijacija vidljivosti, a time i trajanja oznaka na kolniku biti primijenjena suvremena metoda prikupljanja podataka o retrorefleksiji koja je poznata pod nazivom dinamičko ispitivanje retrorefleksije.

Iz navedenoga proizlaze sljedeće hipoteze:

1. Degradacija retrorefleksije, a time i trajanje oznaka za različite vrste materijala od kojih se oznake izvode, ovisi o skupu čimbenika (početna retrorefleksija, prosječni godišnji dnevni promet, starost i pozicija oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine vožnje). Utjecaj pojedinoga čimbenika na trajanje oznake može se odrediti istraživanjem korelacije između retrorefleksije i skupine čimbenika.
2. Uključivanjem više čimbenika s definiranom jačinom utjecaja na vidljivost oznaka postiže se pouzdanija procjena vijeka trajanja oznaka na kolniku.

#### **1.5. Metode istraživanja**

U skladu s postavljenim predmetom istraživanja, hipotezama, ciljevima istraživanja te znanstvenim doprinosima rada primijenjene su različite znanstvene metode. Na temelju rezultata prethodnih znanstveno-istraživačkih i stručnih radova te praktičnih primjera korištena je metoda kompilacije i povijesna metoda u vidu preuzimanja tuđih opažanja, stavova, razmišljanja, zaključaka i spoznaja. Metodom je deskripcije pojašnjen predmet istraživanja i pojedini postupci u okviru doktorske disertacije, kao što je način prikupljanja i mjerenja podataka, koji su vezani uz retrorefleksiju oznaka na kolniku te metodologija izrade modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku. Metodom mjerenja prikupljeni su podatci o retrorefleksiji oznaka na kolniku, a zatim su metodama analize i sinteze, brojanja te matematičkom i statističkom metodom postavljeni temeljni ulazni parametri modela.



Induktivnom i deduktivnom metodom oblikovane su nove činjenice i izvedeni pojedinačni zaključci te su definirane i opisane postojeće aktivnosti sustava održavanja oznaka na kolniku. Metodom deskripcije i komparacije opisani su i uspoređeni elementi postojećih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku te su identificirani nedostaci i ograničenja istih. Metodom modeliranja, na temelju definiranih kriterija, predloženi su modeli predviđanja trajanja oznaka na kolniku.

## **1.6. Kompozicija rada**

Doktorska se disertacija sastojati od devet poglavlja.

U uvodnom su poglavlju predstavljena uvodna razmatranja, argumentiran je i elaboriran znanstveni problem, ciljevi i očekivani rezultati istraživanja te je naveden strukturalni opis disertacije. Prikazana su recentna znanstvena istraživanja koja su vezana uz problematiku disertacije, očekivani znanstveni doprinos u polju *Tehnologija prometa i transport* te očekivane primjene modela odnosno rezultata istraživanja.

U drugom je poglavlju pod naslovom *Osnovni pojmovi vezani uz oznake na kolniku* definiran pojam oznaka na kolniku te je prikazana njihova osnovna funkcionalna podjela u skladu sa zakonskom i podzakonskom regulativom u Republici Hrvatskoj. Također, dan je i kratak osvrt na povijesni razvoj oznaka na kolniku.

U trećem su poglavlju pod naslovom *Temeljne odrednice vidljivosti oznaka na kolniku* opisani procesi vizualne percepcije oznaka te su definirane i pojašnjene vrste refleksije u prirodi kao i važnost retrorefleksije za sigurnost prometa. Na temelju je istraživanja recentnih znanstvenih radova analiziran utjecaj vidljivosti oznaka na ponašanje vozača u različitim vremenskim i prometnim uvjetima te su prema tomu predloženi minimalni zahtjevi za vidljivošću oznaka u skladu s potrebama vozača. Također, detaljno je analiziran utjecaj različitih čimbenika kao što su: dizajn oznaka, vremenski uvjeti i uvjeti na cestama, tip vozila, stanje vozača itd. na vidljivost oznaka na kolniku.

U četvrtom su poglavlju pod naslovom *Materijali za izvođenje oznaka na kolniku* definirane osnovne teoretske odrednice vezane uz oznake na kolniku. Elaborirana je njihova uloga i važnost u cjelokupnom prometnom sustavu te su detaljno opisane tehnologije, tehnike i materijali za izvođenje oznaka.

U petom je poglavlju pod naslovom *Metode ispitivanja kvalitete oznaka na kolniku* definirana i opisana metodologija ispitivanja kvalitete oznaka na kolniku u skladu sa zakonskim i podzakonskim aktima u RH. U ovom je poglavlju naglasak stavljen na metode ispitivanja

retrorefleksije oznaka na kolniku te su elaborirane metode statičkoga i dinamičkoga ispitivanja. Također, dan je pregled zakonske regulative iz navedenoga područja te su prikazani minimalni zahtjevi za vidljivost oznaka u RH.

U šestom je poglavlju pod naslovom *Analiza rezultata ispitivanja kvalitete oznaka na kolniku* detaljno opisana metodologija prikupljanja, analize i obrade podataka koji su vezani uz mjerenje retrorefleksije oznaka na kolniku. Za materijale koji su obuhvaćeni u ovom istraživanju (boja na bazi otapala, termoplastika te strukturirana hladna plastika) prikazana je deskriptivna statistička analiza, što predstavlja preduvjet za izradu modela, te je izvršena verifikacija postojećih modela koji su dostupni u literaturi.

U sedmom je poglavlju pod naslovom *Definiranje modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku*, na temelju provedene analize rezultata mjerenja kvalitete oznaka na kolniku i utjecaja relevantnih čimbenika, izrađen regresijski model predviđanja trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene od analiziranih materijala. Također, na novom je uzorku stvarnih podataka provedena verifikacija dobivenih modela s ciljem provjere njihove točnosti.

Osmo poglavlje prikazuje diskusiju glavnih rezultata koji su dobiveni istraživanjem. Iako je disertacija ispunila zadane ciljeve i potvrdila znanstvene hipoteze rada, napomenuta su ograničenja istraživanja. Na temelju navedenih ograničenja predloženi su planovi i smjernice za daljnja istraživanja. Na kraju poglavlja istaknuti su elementi koji utječu na originalnost rada.

U zaključnom su dijelu disertacije navedene spoznaje koje su dobivene tijekom razvoja modela, prikazani su rezultati znanstvenoga istraživanja po pojedinim dijelovima doktorske disertacije te je definiran znanstveni doprinos i aplikativna mogućnost primjene dobivenih rezultata.

### **1.7. Očekivani rezultati istraživanja**

Očekivani su rezultati istraživanja matematički modeli predviđanja trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene bojom na bazi otapala, termoplastikom i hladnom strukturiranom plastikom te koji, za razliku od dosadašnjih razvijenih modela, analiziraju utjecaj svih relevantnih čimbenika (kao što su početna retrorefleksija, prosječni godišnji dnevni promet, vrsta materijala, starost i pozicija oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine) na trajanje oznaka na kolniku. Modeli će omogućiti optimizaciju sustava održavanja cesta s gledišta racionalizacije troškova koji su vezani uz obnavljanje oznaka, uz osiguravanje odgovarajuće vidljivosti oznaka koja je potrebna vozačima za sigurno odvijanje prometa.

## **1.8. Očekivani znanstveni doprinos**

Na temelju postavljenih hipoteza, definiranih ciljeva i rezultata predloženoga istraživanja očekuje se sljedeći znanstveni doprinos:

- računski učinkovit postupak predviđanja trajanja oznaka na kolniku za različite vrste materijala za izvođenja oznaka
- određivanje jačine utjecaja pojedinoga čimbenika na trajnost oznaka na kolniku
- optimizacija aktivnosti održavanja oznaka na kolniku.

## **1.9. Primjena rezultata istraživanja**

Dobiveni modeli predviđanja trajanja oznaka na kolniku mogu se primjenjivati kao učinkovit alat u sustavu održavanja cesta. Primjenom je modela moguće predvidjeti trajanje oznaka na kolniku te tako definirati raspored i prioritete obnavljanja oznaka čime će se postići optimizacija cjelokupnoga sustava.

Također, dobiveni model može služiti za analizu učinkovitosti pojedinih materijala, tehnika i tehnologija izvođenja oznaka. Na temelju povijesnih podataka o inicijalnoj retrorefleksiji pojedinih materijala za izvođenje oznaka na kolniku te primjene modela moguće je definirati optimalnu tehnologiju, odnosno odabrati optimalan materijal za pojedine geografske, klimatske i prometne uvjete u kojima se određena cesta nalazi.

Uz navedeno, na temelju je rezultata istraživanja definirana minimalna vrijednost retrorefleksije oznaka na kolniku koja je potrebna vozačima.

## 2. OSNOVNI POJMOVI VEZANI UZ OZNAKE NA KOLNIKU

Razvojem motoriziranoga prometa te izgradnjom suvremenih prometnica došlo je do problema označavanja cesta u svhu osiguravanja učinkovitoga i sigurnoga kretanja sudionika u prometu po prometnoj mreži. Osnovni i najstariji način označavanja cesta podrazumijeva postavljanje prometnih znakova koji sudionicima u prometu daju informacije tekstualno i/ili simbolički. Osim znakova važnu komponentu sustava prometne signalizacije predstavljaju i oznake na kolniku. U ovom je poglavlju dan kratak osvrt na povijesni razvoj oznaka na kolniku, definirana je njihova podjela te je elaborirana njihova važnost za prometnu sigurnost.

### 2.1. Povijesni razvoj oznaka na kolniku

Iako označavanje kolnika potječe još iz doba Rimljana koji su ciglama ili kamenjem označavali središte ceste kako bi razdvojili smjerove kretanja kočija, povijest suvremenih oznaka započinje nedugo nakon uspostavljanja prvih serijskih proizvodnja automobila. Masovnijom je primjenom automobila u svakodnevnom životu ljudi došlo do potrebe označavanja cesta u svrhu razdvajanja pravaca kretanja.

Prva dokumentirana primjena oznaka na kolniku datira iz 1911. godine kada je na *Trenton River* cesti u *Wayne Countyju* u *Michigani* (SAD) obojena središnja linija. Začetnik ideje bio je *Edward N. Hines*, predsjednik odbora za ceste u *Wayne Countyju*, nakon što je ugledao kako mlijeko cureći iz spremnika ostavlja bijeli trag duž ceste [5].

Šest godina nakon prve primjene na ruralnim i državnim cestama duž *Michigana*, *Oregona* i *Kalifornije* bojane su središnje linije. U *Oregonu* je u travnju 1917. obojena žuta središnja linija na magistrali *Columbia River*, između *Crown Pointa* i *Multnomah Fallsa*, te je to prva zabilježena primjena oznaka na kolniku žute boje. Ideju je žutih oznaka predložio *Peter Rexford*, tadašnji načelnik policije *Multnomah Countyja*, koji je tvrdio kako bijele oznake nisu dovoljno vidljive tijekom noći i kišnih uvjeta zbog čega je inzistirao na žutim oznakama kao mjerom sigurnosti [5].

Do kraja 1954. godine 47 država SAD-a donijelo je odluku o bijeloj boji kao standardnoj boji za središnje oznake, no to se mijenja 1971. godine kada se izdavanjem priručnika *Jedinstveni uređaji za kontrolu prometa* (engl. *Manual on Uniform Traffic Control Devices*) žuta boja definira kao standardna za izvođenje središnjih oznaka diljem SAD-a. Razlogom je promjene standarda taj što je žuta boja već bila standardna za znakove upozorenja te su cestovne vlasti htjele jednostavnim načinom pružiti vozačima informaciju o širini pojedine kolničke trake i razdvajanju kolničkih traka suprotnih smjerova [5].

U Europi su prve oznake na kolniku izvedene u Velikoj Britaniji 1918. godine. Iako su nakon toga na nizu cesta izvedene oznake, službena regulativa nije donesena sve do 1926. godine [54]. Nedugo nakon toga oznake su se počele primjenjivati i u drugim zemljama u Europi pa su tako ceste u Berlinu već 1925. godine bile označavane bijelim središnjim i rubnim linijama. Razvojem sustava autocesta te primjenom betonskih kolničkih podloga u Njemačkoj je standard iz područja prometa određeno vrijeme definirao primjenu oznaka koje su izvedene crnom bojom kako bi se pojačao kontrast između oznake i kolnika tijekom dana (Slika 1.). Iste oznake tijekom noći nisu bile vidljive zbog čega je standard ubrzo promijenjen te je bijela boja vraćena kao osnovna za izvođenje oznaka.



Slika 1. „Crne oznake” koje su izvedene na njemačkoj autocesti

Izvor: [55]

Upravo je vidljivost oznaka noću predstavljala glavni problem s obzirom na to da tijekom noći nema kontrasta između boje oznake i kolnika, a u skladu s tim ni oznake nisu bile vidljive niti učinkovite. Ideju je o primjeni retroreflektirajućih staklenih kuglica u oznakama na kolniku za povećanje njihove vidljivosti iznio *Canadian Engineer* objavom članka *Luminous Marking for Highways*, u kojem je zaključeno kako staklene sfere značajno doprinose povećanju vidljivosti oznaka noću [56]. Ubrzo su staklene kuglice postale standardni dio oznaka na kolniku.

Danas oznake na kolniku predstavljaju neizostavan element suvremenih kolničkih površina (kako asfaltnih, tako i betonskih) te se izvode od različitih materijala, boja, debljina, struktura itd. te pomažu cestovnim vlastima u upravljanju i reguliranju prometa, a sudionicima u prometu daju informacije o trasi ceste te ih vode prema željenom odredištu.

## 2.2. Definicija oznaka na kolniku

Oznake na kolniku predstavljaju jedan od najvažnijih elemenata prometne signalizacije s obzirom na to da se nalaze u centralnom vidnom polju vozača [57]. Prema studiji [58] one

predstavljaju sredstva za upravljanje prometom čija je osnovna funkcija reguliranje i upravljanje prometom te osiguravanje sigurnoga i učinkovitoga prometa. Autori Zwahlen i Schnell (1999.) definiraju oznake kao jedinstvena sredstva za upravljanje prometom koja kontinuirano prenose informacije o smjeru kretanja, središtu i rubovima kolnika te daju općenite informacije vezane uz prometnu situaciju bez potrebe skretanja vozačeve pozornosti sa same ceste [59]. Fitch i Ahearn (2007.) definiraju oznake kao najrasprostranjeniji način kontrole prometa čiji je cilj povećanje prometne sigurnosti odvajanjem kolničkih traka te pružanje informacija o nadolazećim upozorenjima, regulacijama i/ili dopuštenim smjerovima kretanja [49].

Iz navedenoga se može zaključiti kako su oznake na kolniku elementi sustava prometne signalizacije, odnosno kako one predstavljaju osnovna sredstva za upravljanje i reguliranje prometnih tokova. Sastoje se od linija (crta), natpisa i simbola čijom se kombinacijom oblikuju površine na prometnoj infrastrukturi, a njihovi su osnovni zadatci, osim upravljanja i reguliranja prometa, vođenje, informiranje te upozoravanje sudionika u prometu.

Može se reći kako oznake specifičnim jezikom komuniciraju s vozačima te im „govore” što poduzeti i kako se ponašati u skladu s nadolazećom prometnom situacijom [57]. Postavljaju se isključivo na cestama sa suvremenim (asfaltnim ili betonskim) kolnikom na površinski dio kolnika ili se ugrađuju u sam kolnik, što ovisi o vrsti primijenjenoga materijala. S obzirom na njihovu funkcionalnu raznovrsnost osnovni su razlozi za primjenu oznaka na kolniku sljedeći [17]:

- upućivanje sudionika u prometu na tok ceste i označavanje ceste u odnosu na okruženje
- upozoravanje sudionika u prometu na posebne i/ili opasne pojave ili mjesta na određenim dijelovima prometnice
- definiranje namjene prometne površine
- ograničavanje pristupa određenim kolničkim trakama (npr. za javni gradski prijevoz)
- osiguravanje vođenja prometa na raskrižjima
- nadopuna informacijama koje su dane s pomoću prometnih znakova
- prenošenje pisanih informacija.

### **2.3. Podjela oznaka na kolniku**

Podjelu je oznaka na kolniku moguće izvesti prema nizu kriterija kao što su boja, vrsta materijala, funkcija, trajnost, debljina sloja materijala, retroreflektirajuća svojstva, koeficijent trenja, način izvođenja itd. Međutim, najčešća je podjela oznaka prema njihovoj funkciji te vrsti

materijala. Detaljna podjela i opis pojedinih materijala za izvođenje oznaka na kolniku prikazani su u 4. poglavlju ove disertacije.

U Republici Hrvatskoj, u skladu s Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 33/05, 64/05, 155/05, 14/11), oznake na kolniku dijele se prema funkciji na [60]:

- a) uzdužne oznake na kolniku
- b) poprečne oznake na kolniku
- c) ostale oznake na kolniku i predmetima uz rub kolnika.

*a) Uzdužne oznake na kolniku*

Pod uzdužnim oznakama na kolniku podrazumijevaju se sve one koje su paralelne s osi kolnika, a tu se ubrajaju: razdjelne (središnje), rubne i crte vodilje. Razdjelna crta služi za razdvajanje dvosmjernih kolničkih površina prema smjerovima kretanja vozila, dok rubna crta služi za označavanje ruba vozne površine kolnika. Crte vodilje koriste se kao pomoćne crte pri prolasku kroz raskrižje, posebno kod većih raskrižja [60].

Osim podjele na razdjelne, rubne i crte vodilje, uzdužne se oznake dijele i na: pune, isprekidane te dvostruke linije. Isprekidane linije dijele se na isprekidane razdjelne, isprekidane kratke, isprekidane široke i crte upozorenja. Isprekidana razdjelna crta razdvaja kolničku površinu na dvije ili više prometnih traka.

Kratka isprekidana linija služi kao razdjelna crta na prilaznim krakovima raskrižja, kao crta vodilja u samom raskrižju te za odvajanje trakova za vozila javnoga prijevoza putnika, dok široka isprekidana linija služi za razdvajanje tokova u raskrižjima na cestama izvan naselja. Crte upozorenja koriste se kao najava blizine pune razdjelne crte [60].

Dvostruke linije dijele se na dvostruke pune, dvostruke isprekidane i dvostruke kombinirane crte. Dvostruke pune crte označavaju zabranu prelaska preko njih te zabranu kretanja vozila po njima.

Dvostrukim isprekidanim crtama označavaju se prometne trake s izmjenjivim smjerom kretanja na kojima je promet upravlján prometnim svjetlima, dok se dvostrukim kombiniranim linijama razdvajaju prometni trakovi na mjestima gdje je zbog uvjeta preglednosti dopušteno samo pretjecanje u jednom smjeru kretanja [60].

Širina je uzdužnih crta najmanje 10 cm i linearno se povećava u odnosu na širinu kolnika [60]:

- $\geq 3,5$  m – 20 cm
- 3 – 3,5 m – 15 cm
- 2,75 – 3 m – 12 cm
- 2,5 – 2,75 – 10 cm.

*b) Poprečne oznake na kolniku*

Pod poprečnim oznakama na kolniku podrazumijevaju se sve oznake koje se postavljaju okomito ili pod određenim kutom u odnosu na os ceste, a tu se ubrajaju: zaustavne linije, kose crte, graničnici, pješački prijelazi te prijelazi biciklističke staze preko kolnika. Zaustavne linije mogu biti pune ili isprekidane. Pune zaustavne linije označavaju mjesta na prometnici na kojima vozač mora zaustaviti svoje vozilo, dok isprekidane zaustavne linije također označavaju mjesta na prometnici na kojima vozač mora zaustaviti svoje vozilo, ali u slučaju da je potrebno propustiti vozila koja imaju pravo prvenstva prolaza. Kose crte označavaju mjesta otvaranja izlaznoga traka na autocestama i brzim cestama te otvaranje i zatvaranje prometnoga traka koji je namijenjen vozilima javnoga prijevoza putnika. Graničnici označavaju mjesto ulaska na kojem je potrebno odvojiti dio kolnika na kojem je zabranjen promet [60].

Poprečne oznake na kolniku obilježavaju se punim ili isprekidanim linijama, a postavljaju se tako da zahvaćaju jednu ili više prometnih traka. Zbog specifičnoga kuta pod kojim ih vozač vidi izvode se veće širine u odnosu na uzdužne oznake.

*c) Ostale oznake na kolniku*

U ostale oznake na kolniku ubrajaju se sve one oznake i predmeti koji se po svojoj funkciji ne uvrštavaju u uzdužne i poprečne oznake, a to su [60]:

- strelice
- polja za usmjeravanje prometa
- crte usmjeravanja
- natpisi na kolniku
- oznake za označavanje prometnih površina za posebne namjene
- oznake za obilježavanje mjesta za parkiranje
- obilježavanje bijelih točaka za ocjenu vidljivosti u magli
- obilježavanje naprava za smirivanje prometa
- elementi konstrukcije i opreme javnih cesta



- evakuacijske crte u tunelima.

U određenim situacijama prometni znakovi u vodoravnoj ravnini koji su izvedeni od istih vrsta materijala kao i druge oznake na kolniku mogu se koristiti kako bi se dodatno upozorilo vozače na nadolazeću situaciju u prometu. Najčešće se to primjenjuje u zonama škole ili povećanoga kretanja pješaka, neposredno prije cestovno-željezničkih prijelaza, na specifičnim tipovima raskrižja ili ceste gdje se od vozača zahtijeva povećan oprez [17].

### 3. TEMELJNE ODREDNICE VIDLJIVOSTI OZNAKA NA KOLNIKU

Kako bi oznake na kolniku mogle učinkovito izvršavati svoju funkciju, one moraju biti vidljive sudionicima u prometu u svim vremenskim uvjetima, odnosno moraju imati dobra reflektirajuća svojstva. Posebno je to važno u noćnim uvjetima i uvjetima smanjene vidljivosti kada je količina vizualnih informacija koje vozači primaju znatno ograničena. U ovom će poglavlju biti definirane osnovne vrste refleksije te će, na temelju dosadašnjih znanstvenih i stručnih spoznaja, biti detaljno elaboriran utjecaj različitih čimbenika na vidljivost oznaka na kolniku.

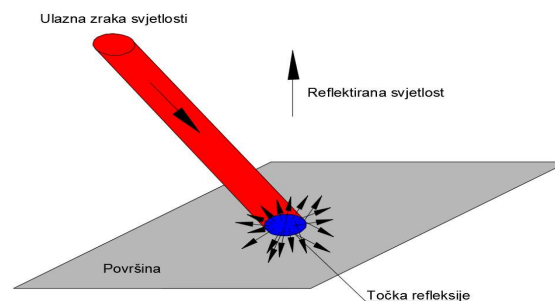
#### 3.1. Vrste refleksije te njihov utjecaj na vidljivost u prometu

Općenito, s gledišta fizike, refleksija predstavlja odbijanje ravnih valova na graničnoj površini dvaju sredstava (medija). U skladu s tim refleksija svjetlosti nastaje kada se zraka svjetlosti „odbija”, odnosno reflektira od određene površine pri čemu je reflektirana svjetlost manjega intenziteta nego upadna jer se dio energije upadne svjetlosti apsorbira, odnosno prelazi u drugo sredstvo (osim kod totalne refleksije) [61].

U prirodi postoje tri specifična oblika refleksije svjetlosti, a to su [62]:

- difuzna refleksija
- zrcalna (spekularna) refleksija
- retrorefleksija.

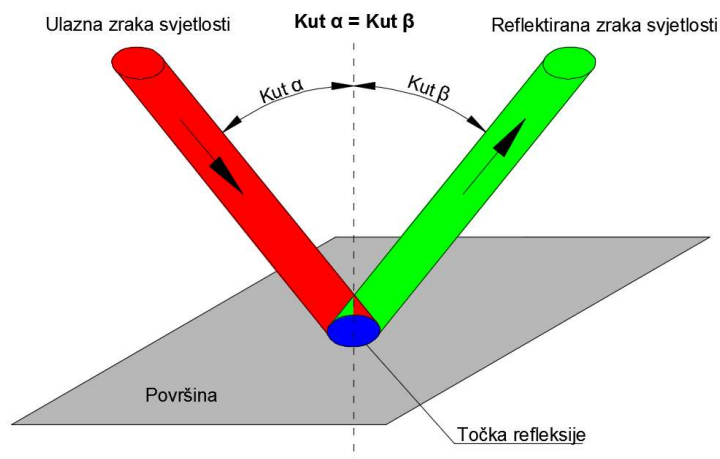
Kod difuzne se refleksije svjetlost od površine raspršuje jednako u svim smjerovima bez obzira na kut upada. Događa se na hrapavim površinama pri čemu reflektirano svjetlo s hrapave površine nema odsjaja i svjetlosnih točaka. Uzrokom je tomu struktura hrapave površine zbog čega se svaka upadna zraka svjetla reflektira pod različitim kutom (Slika 2.). Difuzna refleksija naziva se još i dnevna vidljivost jer omogućava ljudima vizualno uočavanje tijekom dnevnoga svjetla.



Slika 2. Prikaz difuzne refleksije

Izvor: Prilagođeno prema [62]

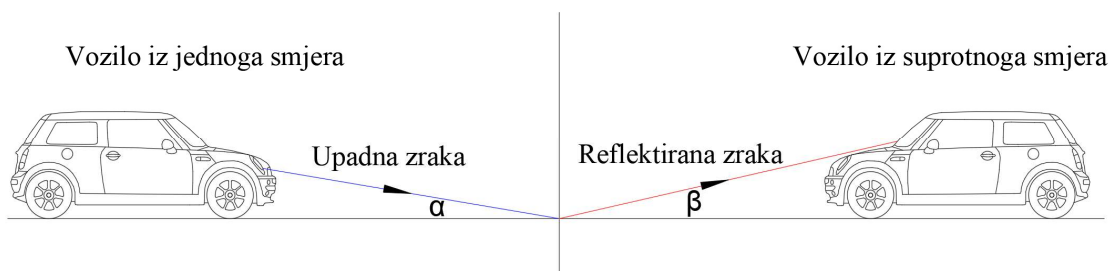
Kod zrcalne ili spekularne refleksije upadna se svjetlost reflektira od glatkih i sjajnih površina pod istim upadnim kutom u suprotnom smjeru. Idealna je zrcalna refleksija prikazana na Slici 3. gdje su upadni kut ( $\alpha$ ) i kut refleksije ( $\beta$ ) jednaki.



Slika 3. Prikaz zrcalne refleksije

*Izvor: Prilagođeno prema [62]*

U stvarnim prometnim uvjetima zrcalna se refleksija najčešće događa kada je kolnik mokar ili zaleđen te se tada reflektirana svjetlost ne reflektira pod istim upadnim kutom, već s blagim odmakom. Kako se svjetlost iz farova vozila reflektira u suprotnom smjeru s blagim odmakom, dolazi do stvaranja bljeska vozačima iz suprotnoga smjera, što prouzrokuje smanjenje njihova vidnoga polja od 40 do 60 metara, a ponekad i privremeno zaslepljivanje [63] kao što je prikazano na Slici 4.

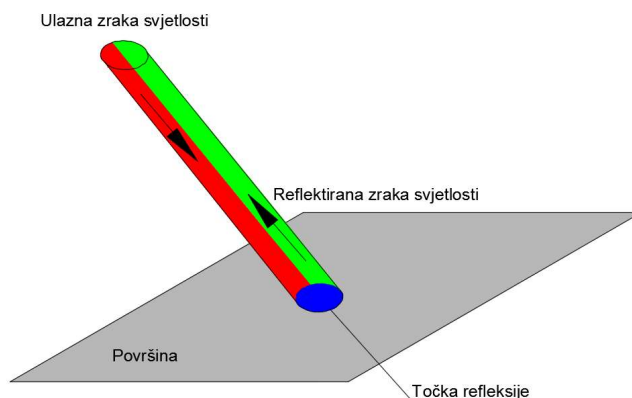


Slika 4. Prikaz negativnoga učinka zrcalne refleksije u prometu

*Izvor: Prilagođeno prema [63]*

Kao što je opće poznato, noćni uvjeti i uvjeti smanjene vidljivosti predstavljaju najsloženije uvjete vožnje u kojima je količina vizualnih informacija ograničena, a vidno polje vozača (posebno periferni vid) kao i oštrina vida znatno su smanjeni. U navedenim uvjetima, u većini slučajeva, jedini su izvor svjetla farovi vozila. Kako bi u takvim uvjetima vozač mogao percipirati okolinu, svjetlo iz farova vozila mora se reflektirati od objekata iz okoline nazad

prema vozaču, odnosno mora se postići učinak retrorefleksije. Stoga se može reći kako je retrorefleksija pojava kod koje se svjetlost reflektira od površine pod istim upadnim kutom nazad prema svom izvoru (Slika 5.).

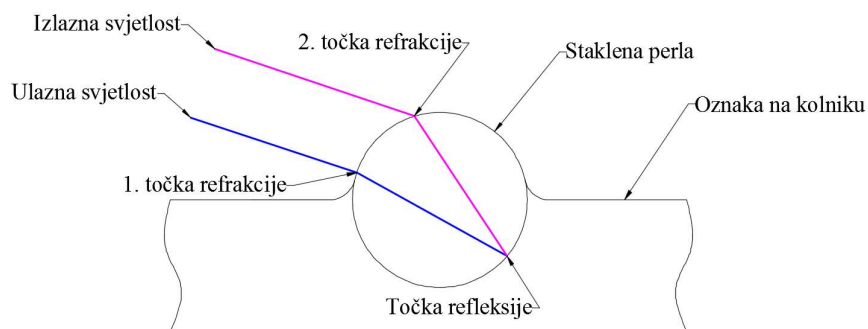


Slika 5. Prikaz retrorefleksije

Izvor: Prilagođeno prema [64]

Većina površina u prirodi ima svojstvo miješane refleksije koja je kombinacija difuzne i zrcalne refleksije. Kako difuzna refleksija reflektira relativno malen dio upadne svjetlosti nazad prema izvoru, dok zrcalna refleksija ne reflektira gotovo nimalo svjetlosti nazad prema izvoru, retrorefleksija se ostvaruje posebnim materijalima. Upravo se tim materijalima osigurava vraćanje svjetla nazad prema izvoru zbog čega je retrorefleksija najpogodnija za noćne uvjete i uvjete smanjene vidljivosti. Ovisno o vrsti retroreflektirajućega materijala retrorefleksija se dijeli na sferičnu i prizmatičnu.

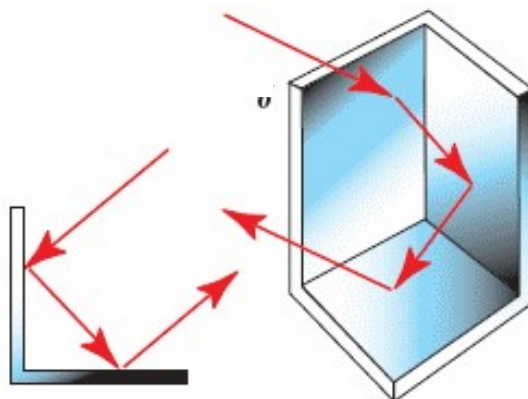
Kod sferične retrorefleksije staklena perla lomi (refrakcija) ulazni svjetlosni trak pri prolasku kroz prednju površinu staklene kuglice. Svjetlost se zatim reflektira sa zrcalne površine iza kuglice te se ponovnim prolaskom kroz prednju površinu kuglice svjetlost lomi i reflektira u smjeru svoga izvora (Slika 6.) [65].



Slika 6. Prikaz sferične retrorefleksije oznaka na kolniku

Izvor: Prilagođeno prema [65]

Kod prizmatične retrorefleksije tri jednake okomite površine čine prizmu na kojoj se ulazni trak svjetlosti reflektira od svih triju ploha i vraća u smjeru izvora usporedno s ulaznim svjetlom (Slika 7.).



Slika 7. Prikaz prizmatične retrorefleksije

Izvor: [66]

Kako prizmatična retrorefleksija nema refrakcija odnosno lomova svjetlosti, već se isključivo temelji na refleksiji, gubitak je svjetlosti u usporedbi sa sferičnom retrorefleksijom puno manji. Drugim riječima, prizmatična će retrorefleksija vraćati puno više ulaznoga svjetla nazad prema izvoru u odnosu na sferičnu te će time osiguravati bolju vidljivost u uvjetima smanjene vidljivosti.

Međutim, kako bi prizme mogle „okrenuti” i vratiti svjetlost nazad prema izvoru, one moraju biti postavljene na specifičan način te im plohe moraju biti polirane i čiste. Kako se oznake, u većini slučajeva, izvode strojno u različitim uvjetima na terenu (cesti), nemoguće je osigurati pravilno postavljanje prizma na oznake. S druge strane, sferične će perle, kako god da se postave na oznake, omogućiti ostvarivanje retrorefleksije, što je razlog njihove primjene kod oznaka na kolniku.

Idealna retrorefleksija prikazana na Slici 5. ne emitira reflektiranu svjetlost ni u jednom drugom smjeru osim u smjeru izvora svjetlosti, što u prometu ne bi imalo svrhe jer bi se sva svjetlost vratila nazad u farove vozila. Stoga je u prometu poželjna blaga nesavršenost retroreflektirajućih materijala odnosno retrorefleksije zbog koje se svjetlost ne vraća pod istim upadnim kutom nazad k izvoru, već postoji mala razlika između reflektirajućega i upadnoga kuta što omogućava da se reflektirajuća zraka svjetla vrati vozaču u oči, što je preduvjet za proces percepcije okoline.

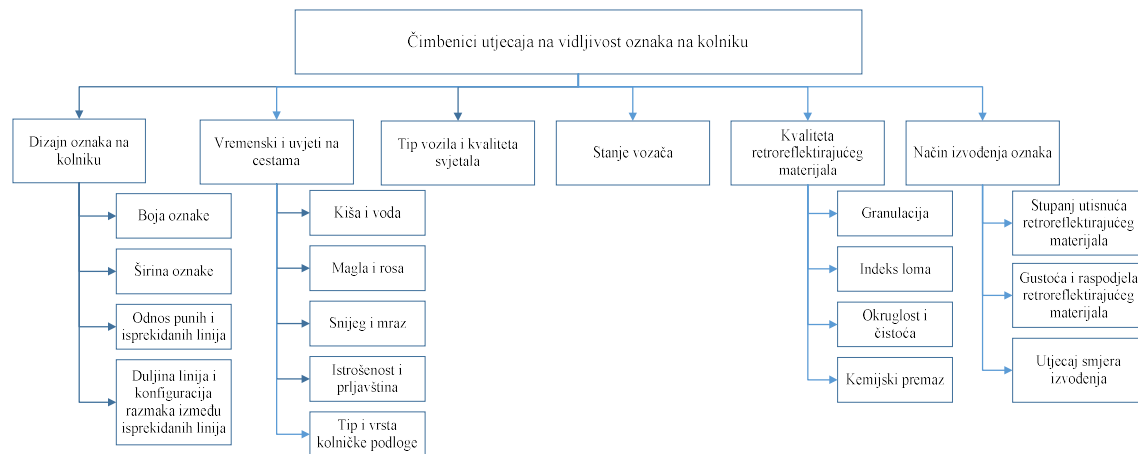
### 3.2. Čimbenici utjecaja na vidljivost oznaka na kolniku

Kvaliteta vidljivosti oznaka na kolniku u noćnim uvjetima i uvjetima smanjene vidljivosti očituje se u koeficijentu retrorefleksije ( $R_L$ ) koji se definira, prema studiji [67], kao omjer izlazne sjajnosti površine ( $L$ ) i ulaznoga osvjetljenja po toj površini ( $E$ ), kao što je prikazano u izrazu (20):

$$R_L = \frac{L}{E} \quad . \quad (20)$$

Pritom se sjajnost mjeri u kandelima po metru kvadratnom ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), a osvjetljenje u luksima ( $\text{lx}$ ), pa se tako koeficijent retrorefleksije mjeri u kandelima po luksu po metru kvadratnom ( $\text{cd}/\text{lx}/\text{m}^2$ ), odnosno, prikladnija je jedinica za oznake milikandela po luksu po metru kvadratnom ( $\text{mcd}/\text{lx}/\text{m}^2$ ). Može se reći da koeficijent retrorefleksije opisuje koliki je potencijal materijala za vraćanje svjetla, kako po danu (stvaranjem većega kontrasta), tako i po noći (stvaranjem veće sjajnosti površine) [17].

Na kvalitetu percepcije oznaka na kolniku odnosno na opću vidljivost oznaka utječe niz čimbenika koji se mogu kategorizirati kao što je prikazano na Slici 8. [17].



Slika 8. Shematski prikaz čimbenika utjecaja na vidljivosti oznaka na kolniku

Izvor: Prilagođeno prema [17]

#### 3.2.1. Dizajn oznaka na kolniku

Karakteristike dizajna odnose se na svojstva oznaka na kolniku koja nisu neposredno vezana uz njihove retroreflektirajuće karakteristike, već su vezana uz njihovu boju i širinu, odnos između punih i isprekidanih linija te uz duljinu i konfiguraciju razmaka između isprekidanih linija [17].

#### a) *Boja oznake*

Boja oznake utječe na vidljivost oznaka na kolniku tako da povećava kontrast između oznake i kolnika. Osnovne su boje koje se koriste širom svijeta bijela i žuta, ovisno o tradiciji označavanja cesta u pojedinim zemljama. Osim povećanja vidljivosti sama boja oznake može koristiti sudionicima u prometu i kao informacija. Tako se npr. u RH žutom bojom označavaju oznake posebne namjene i privremene regulacije čime se bojom oznake daje jasna informacija sudioniku u prometu o nadolazećoj prometnoj situaciji.

Istraživanjem je vidljivosti bijelih i žutih oznaka utvrđeno kako bijele oznake imaju veći koeficijent retrorefleksije, odnosno kako su vidljivije od žutih oznaka [11] [68]. Uz manje vrijednosti retrorefleksije udaljenost je uočavanja žutih oznaka približno 20 % kraća u odnosu na oznake izvedene bijelom bojom [69]. Također, istraživanjem koje je provedeno u studiji [70] utvrđeno je kako postoje određene razlike u uočavanju žute boje tijekom dana i noći. S povećanjem udaljenosti uočavanje se žute boje smanjivalo, odnosno ispitanicima se oznake nisu činile žute. Autori *Zwahlen* i *Schnell* u studiji [71] zaključili su na temelju subjektivnih ocjena detekcije oznaka različitih boja i razina retrorefleksije kako visoko reflektirajuće bijele oznake imaju najdalju udaljenost detekcije, dok visoko reflektirajuće žute i srednje reflektirajuće bijele oznake imaju jednaku udaljenost detekcije.

#### b) *Širina oznake*

Širina oznaka pokazala se kao čimbenik koji utječe na ponašanje vozača, posebno na lateralnu udaljenost vozila od ruba ceste te na udaljenost detekcije oznaka. Rezultati dosadašnjih istraživanja, [12] i [13], pokazali su kako vozači mijenjaju bočni položaj vozila, odnosno kako je njihova putanja vožnje bliža rubu ceste čime se smanjuje rizik od potencijalnih frontalnih sudara s obzirom na povećanje razmaka između mimoilazećih vozila kada su oznake šire.

Osim samoga utjecaja na ponašanje vozača širina oznake utječe i na vidljivost, a time i na detekciju oznake u noćnim uvjetima. Kako povećanje širine podrazumijeva i veće količine retroreflektirajućega materijala na oznaci, udaljenost detekcije širih oznaka povećava se te u prosjeku iznosi 30 % više u odnosu na tanje oznake [69] [72].

#### c) *Odnos punih i isprekidanih linija*

Istraživanja koja su vezana uz odnos između punih i isprekidanih linija vezana su uz analiziranje udaljenosti detekcije navedenih oznaka. S obzirom na veću površinu koju pokrivaju te više retroreflektirajućega materijala, pune linije logično imaju i veću udaljenost detekcije od isprekidanih linija. Razlike u udaljenosti kreću se između 10 % i 50 % [69] [71] [73]. Također,

iako su zabilježene razlike male, primijećeno je kako vozači mijenjaju svoj lateralni položaj u odnosu na vrstu linije tako da se tijekom vožnje uz punu liniju približavaju rubu ceste, a tijekom vožnje uz isprekidanu liniju sredini ceste.

*d) Duljina linija i konfiguracija razmaka isprekidanih linija*

Istraživanje je utjecaja duljina linija i razmaka između isprekidanih linija na vidljivost oznaka i na vozačevo ponašanje provedeno u studiji [74]. Rezultati istraživanja nisu pokazali statistički značajnu razliku u vidljivosti trimetarskih linija s razmacima od 9,1 m u odnosu na linije duljine 4,6 m s razmacima 7,6 m. Slično je zaključeno i u studiji [75] gdje su analizirane različite konfiguracije (0,3/11,9 m, 0,6/11,6 m i 1,2/11 m). S druge strane, u istraživanjima [76] i [77] zabilježena je mala, ali statistički značajna razlika u ponašanju vozača. Naime, kraće su linije s većim razmacima uzrokovale učestalije prelaze preko središnje linije, odnosno u drugi vozni trak, dok su duže linije s kraćim razmacima uzrokovale povećanje brzine.

S obzirom na različitost rezultata i malu statističku razliku između ponašanja vozača i vidljivosti kraćih linija s dužim razmacima u odnosu na duže linije s kraćim razmacima, opći je zaključak navedenih istraživanja kako se povećani troškovi dužih oznaka ne isplaćuju proporcionalno s povećanjem vidljivosti oznaka.

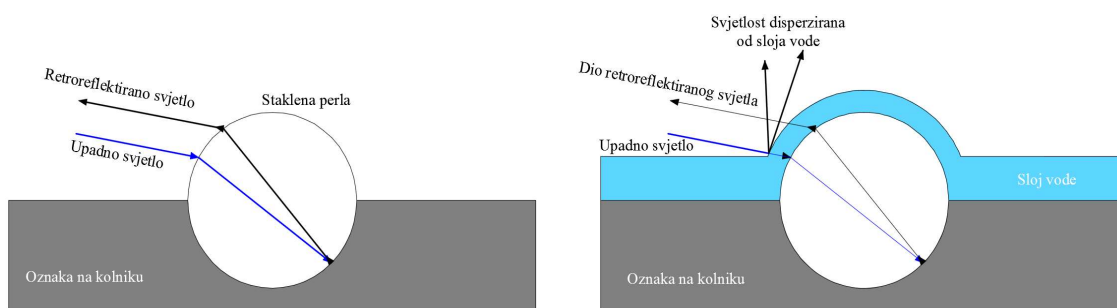
**3.2.2. Vremenski uvjeti i uvjeti na cestama**

Vremenski uvjeti i uvjeti na cestama koji utječu na vidljivost oznaka na kolniku vezani su uz kišu, maglu, snijeg i mraz te trošenje oznaka, kao i uz prljavštinu na oznakama. Loši vremenski uvjeti i uvjeti na cestama stvaraju „najgore moguće scenarije” za vidljivost oznaka na kolniku, stoga zaslužuju posebnu pozornost [17].

*a) Kiša i voda*

Najčešći je vremenski uvjet koji utječe na vidljivost oznaka kiša pri kojoj ceste postaju vlažne što može stvoriti zrcalnu refleksiju odnosno bljesak vozačima iz suprotnoga smjera. Osim bljeska sloj vode na asfaltu prekriva oznake na kolniku, a time i retroreflektirajuće materijale što znatno umanjuje njihovu vidljivost kao što je dokazano u studijama [28], [36] i [37]. Sloj vode prekriva oznaku i retroreflektirajući materijal zbog čega se veći dio svjetlosti disperzira od površine vode, a samo manji dio dolazi do staklene perle kao što je prikazano na Slici 9. Slično se događa i pri izlasku svjetlosti iz staklene perle zbog čega samo manji dio prvotnoga svjetla dolazi do vozača.





Slika 9. Prikaz retrorefleksije u suhim te u mokrim i kišnim uvjetima

*Izvor: Prilagođeno prema [78]*

S ciljem poboljšanja trajnosti oznaka, ali i njihove vidljivosti u mokrim i kišnim uvjetima razvijeni su materijali čija je debljina nanosa viša u odnosu na sloj vode, što osigurava da su retroreflektirajući materijali na „suhom”. Također, primjena strukturiranih oznaka omogućava odvođenje vode s oznaka, što povećava njihovu vidljivost u navedenim uvjetima (Slika 10.).



Slika 10. Primjer strukturirane oznake na kolniku

*Izvor: [79]*

Uz primjenu različitih materijala i struktura oznaka još je jedan od načina povećanja vidljivosti oznaka u mokrim i kišnim uvjetima. To je uporaba retroreflektirajućega materijala većih granulacija, a s obzirom na to da se iste mogu isticati iznad tankoga vodenoga sloja. Njihov je nedostatak što su istovremeno osjetljivije na oštećenja zbog čega mogu postati ekonomski nepovoljne na određenim cestama [17].

#### *b) Magla i rosa*

U uvjetima magle i rose dolazi do pojave čestica vode u zraku ili na površini oznaka koje raspršuju svjetlost iz farova vozila zbog čega manje svjetlosti dolazi do reflektirajućega materijala. Slično se događa i sa svjetlošću koja se reflektira od staklenih perla. Čak i mala

količina magle umanjuje vidljivost bojanih oznaka za oko 10 %, a nešto manje profiliranih oznaka. Magla pri kojoj je vidljivost 200 m dovodi do smanjenja vidljivosti oznaka za 50 % [80].

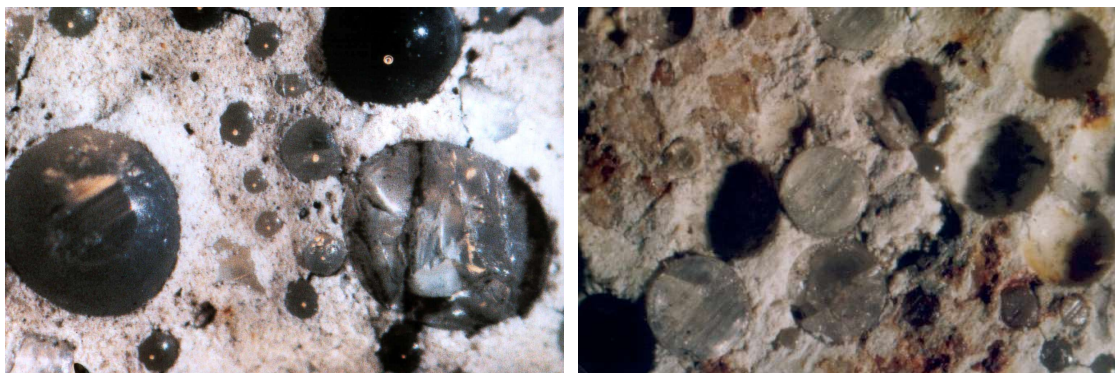
*c) Snijeg i mraz*

Snijeg kao i voda odnosno kiša prekriva retroreflektirajući materijal oznaka, a u uvjetima većega snijega i cjelokupnu oznaku. Međutim, za razliku od vode, snijeg ima visok faktor sjajnosti zbog čega je lako uočljiv u odnosu na tamnije površine [17]. Kod većih nanosa snijega najveći problem vozačima predstavlja gubitak kontura ceste te smanjenje orijentacije unutar voznih traka.

Mraz ima sličan učinak kao i voda, umanjuje retrorefleksiju oznaka te može prouzročiti pojavu zrcalne refleksije odnosno blještavilo vozačima iz suprotnoga smjera.

*d) Istrošenost i prljavština*

Tijekom funkcionalnoga vijeka oznake su izložene nizu različitih utjecaja koji tijekom vremena troše oznake. Istrošenost oznake odnosi se na postojanost materijala od kojega je oznaka izvedena te retroreflektirajućega materijala. Trošenje je oznake posebno značajno u vrijeme zime pri aktivnostima zimskoga održavanja cesta, odnosno raljenja snijega kada ralice uništavaju retroreflektirajući materijal te skidaju slojeve materijala od kojega je oznaka izvedena (Slika 11.).



Slika 11. Prikaz oštećenoga retroreflektirajućega materijala nakon raljenja snijega

*Izvor:* [81]

Dale i dr. u studiji [52] utvrdili su kako retrorefleksija bojanih oznaka degradira  $3,22 \text{ mcd/lx/m}^2$  po zimskoj aktivnosti, odnosno kako svako raljenje ceste smanjuje trajanje oznake za mjesec dana. Istraživanje je utjecaja raljenja snijega na degradaciju oznaka na kolniku na šest državnih cesta u RH provedeno u studiji [82]. Rezultati su pokazali kako je degradacija središnjih oznaka

na cestama bez aktivnosti raljenja 17,40 % manja u odnosu na ceste na kojima je zabilježeno raljenje. Slično je i kod rubnih oznaka gdje je navedena razlika 21,01 %. Također, utvrđeno je kako svakim raljenjem retrorefleksija pada u prosjeku 6,10 mcd/lx/m<sup>2</sup>, što je gotovo dvostruko više u odnosu na rezultate studije [52]. Razlog navedenoj razlici autori u studiji [82] objašnjavaju različitim geografskim i klimatskim čimbenicima, različitim karakteristikama prometnoga toka te praksom i tehnologijom zimskoga održavanja cesta.

Osim istrošenosti prljavština također umanjuje vidljivost oznaka, kako u noćnim, tako i u dnevnim uvjetima (Slika 12.). Prljavština je vrlo česta u područjima s poljoprivrednim aktivnostima gdje radna vozila iz polja izlaze na cestu te nanose zemlju i blato na oznake čime umanjuju njihovu vidljivost.



Slika 12. Razlika u dnevnoj vidljivosti prljave rubne i čiste središnje linije

e) *Tip i vrsta kolničke podloge*

Tip i vrsta kolničke podloge u određenoj mjeri može utjecati na vidljivost oznaka na kolniku. Kod asfaltnih će se podloga utjecaj očitovati na noćnoj vidljivosti oznaka odnosno na retrorefleksiji jer će se oznake zbog kontrasta u boji tijekom dana dovoljno jasno vidjeti. S druge strane, betonske podloge zbog manjega kontrasta u boji mogu u određenim uvjetima umanjiti dnevnu vidljivost oznaka te će trajanje oznaka na kolniku na betonskim podlogama uglavnom biti kraće u odnosu na asfaltne podloge.

Iako utjecaj tipa i vrste kolničke podloge nije dovoljno istražen, može se zaključiti kako su asfaltne podloge, s gledišta oznaka na kolniku, kvalitetnije. Također, oznake koje su izvedene na asfaltnim podlogama koje su unaprijed pripremljene u tvornicama (engl. *Plant Mixed*

*Pavements*) imaju veću retrorefleksiju u odnosu na bitumenske podloge, a s obzirom na to da im je hrapavost manja [83].

Općenito, tri su glavne karakteristike kolničke površine koje utječu na vidljivost, ali i na trajnost oznaka na kolniku [84]:

- hrapavost
- osjetljivost na toplinu
- poroznost.

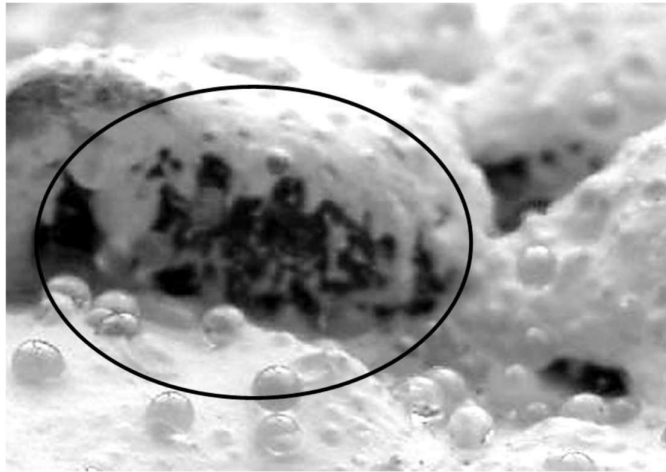
Hrapavost kolničke površine može imati važnu ulogu u učinkovitosti oznake tijekom vremena. Retrorefleksija je oznaka na kolniku na hrapavijim podlogama obično manja u odnosu na oznake koje su izvedene na glatkim površinama [84]. Hrapavije podloge sastoje se od niza nepravilnih „brežuljaka” zbog čega retroreflektirajući materijal može pasti ispod pojedinoga „brežuljka” kao što je prikazano na Slici 13.



Slika 13. Prikaz retroreflektirajućega materijala ispod „brežuljka” pri hrapavim kolnicima

*Izvor:* [84]

Također, pri izvođenju oznaka stražnja strana (u odnosu na smjer izvođenja) „brežuljaka” ostaje nepokrivena materijalom kao što je prikazano na Slici 14. Dodatno, navedeni su „brežuljci” pri izvođenju prekriveni tanjim slojem materijala od kojega se oznaka izvodi što dovodi do lošijega utisnuća staklenih perla u materijal, a time i do brže degradacije retrorefleksije kao što je prikazano na Slici 15. [84].



Slika 14. Nepokrivenost stražnje strane „brežuljaka” kod hrapavih kolnika

*Izvor:* [84]



Slika 15. Tanka prekrivenost materijalom i slabo utisnuće retroreflektirajućega materijala u oznaci na području „brežuljaka” kod hrapavih kolnika

*Izvor:* [84]

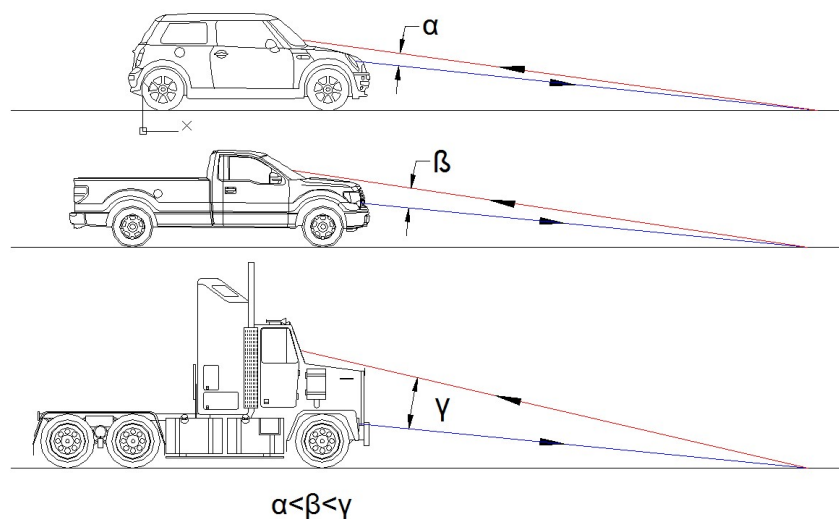
Toplinska osjetljivost kolničke površine određuje čvrstoću lijepljenja, odnosno povezivanja kolničke površine i materijala za oznake na kolniku, posebno onih koji se nanose zagrijani. Na temperaturama većim od 70 °C asfalt se ponaša kao viskozna tekućina što omogućuje toplinsko povezivanje s većinom materijala koji se nanose toplim postupcima (zagrijani). Toplinskim povezivanjem i spajanjem s asfaltom postiže se čvršća veza kolničke površine i oznake čime se produžuje trajanje same oznake. S druge strane, betonski se kolnici ne povezuju s materijalima na navedeni način, stoga je trajnost oznaka na betonskim podlogama kraća [84].

Poroznost kolničke površine također određuje karakteristike mehaničke veze između oznake i površine. Mehanička veza nastaje kada materijal od kojega se oznaka izvodi ulazi u pore na

površini kolnika te time stvara čvrstu mehaničku vezu nakon sušenja što pozitivno utječe na vijek trajanja same oznake [84].

### 3.2.3. Tip vozila i kvaliteta svjetala

Na vidljivost oznaka utječe i tip vozila s obzirom na to da se mijenja geometrija gledanja. Upadni je kut svjetala na oznaku uvjetovan visinom svjetala vozila, dok kut promatranja osim o visini svjetala ovisi i o visini sjedišta vozača [57]. Vidljivost će oznaka tako biti bolja vozačima koji sjede niže jer je kut promatranja manji kao što je prikazano na Slici 16.



Slika 16. Kutovi promatranja za različite tipove vozila

Izvor: [57]

Motocikli su, s druge strane, opremljeni jednim ili dvama manjim farovima koji daju znatno manje osvjetljenje nego vozila, što u konačnici umanjuje vidljivost oznaka. Također, motociklisti moraju u zavojima nagnuti motocikl kako bi održali ravnotežu mijenjajući time uzorak svjetla fara na cesti. Međutim, kako je kut promatranja manji nego kod vozača automobila, učinkovitost se retroreflektirajućih materijala povećava [17].

Promjena će osvjetljenja farova utjecati i na vidljivost oznaka na kolniku. Ovaj je odnos logaritmički, tako da će smanjenje intenziteta svjetla za 50 % (zbog prljavštine, korozije, pada napona, starosti itd.) dovesti do pada vidljivosti oznake za 20 % [17]. Prema studiji [85] vidljivost će oznaka osvijetljenih farovima, u skladu s američkim standardom, biti oko 20 % veća u odnosu na farove koji su u skladu s europskim standardom.

### 3.2.4. Stanje vozača

Na prometnu sigurnost značajno utječe ljudski čimbenik odnosno samo stanje vozača. Stanje je vozača vezano uz njegovu dob te uz određene privremene i/ili stalne utjecaje koji u određenoj mjeri mijenjaju vozačevu sposobnost percepcije, a time i reakcije.

Općenito, stariji vozači imaju veći rizik sudjelovanja u prometnim nesrećama od mlađih vozača. Iako je rizik od vožnje pod utjecajem alkohola i drugih opijata te prebrze vožnje u slučaju starijih vozača manji u odnosu na mlađe, određene vrste sudara kao što su sudari pri uključenju u promet, sudari na raskrižjima i sl. više su vezani uz starije vozače [86]. Također, kvaliteta je vizualnih i kognitivnih sposobnosti starijih vozača smanjena zbog čega je nužno osigurati odgovarajuću vidljivost prometne signalizacije kako bi vožnja tijekom noći i u uvjetima smanjene vidljivosti navedene kategorije vozača bila udobija i manje „stresna”.

Autori u studiji [30] zaključuju kako je razina retrorefleksije od 100 mcd/lx/m<sup>2</sup> odgovarajuća za starije vozače. Međutim, kako je istraživanje provedeno u povoljnim vremenskim uvjetima na čistoj cesti, autori predlažu povećanje navedene razine za 21 %, odnosno na 120 mcd/lx/m<sup>2</sup>, kako bi se osigurala dovoljna vidljivost u slučaju lošijih vremenskih uvjeta i uvjeta na cesti.

Osim dobi vozača na vidljivost oznaka, a time i na prometnu sigurnost, utječu i razni privremeni i/ili stalni utjecaji među kojima su najznačajniji alkohol i opijati, umor i smanjena pozornost te problemi s vidnim sustavom.

Alkohol i većina opijata umanjuju sposobnost vizualne percepcije te time skraćuju vrijeme reakcije, umanjuju koncentraciju i pozornost, otežavaju i usporavaju obradu i razumijevanje podataka koji su dobiveni putem osjetila, povećavaju samopouzdanje što može dovesti do rizične vožnje, uspavljaju vozača itd. [87]. Upravo je vozačima pod navedenim utjecajima kvalitetna prometna signalizacija izrazito značajna. Rezultati istraživanja koje je provedeno u studiji [88] upućuju na to kako vozači pod utjecajem alkohola održavaju stabilniju bočnu poziciju unutar voznih traka kada su rubne oznake na kolniku šire (20 cm). *Johnston* (1983. godine) zaključuje kako vozači pod utjecajem alkohola učestalo „sijeku” zavoje čime se povećava rizik od frontalnih sudara. Poboljšanjem prometne signalizacije u smislu postavljanja znakova opasnosti od zavoja (tzv. „ribljih kostiju”) te rubnih oznaka na kolniku značajno se smanjilo navedeno ponašanje vozača. Također, zabilježeno je i smanjenje brzine prije samoga zavoja, što znači da su vozači ranije primijetili nadolazeću prometnu situaciju [89].

Uz alkohol i opijate umor je vozača vrlo čest uzrok nesreća, kao i smanjena pozornost. Kako vožnja tijekom dužih relacija često postaje monotona, ljudski se mozak uspavljuje te može doći

do privremenoga stanja u kojem je vozač budan, no ne percipira okolinu. Također, umor dovodi do smanjenja vizualne pozornosti te usporava motoričke funkcije čovjeka te se tako povećava rizik od pojave prometnih nesreća.

Povećana složenost informatičkih sustava kojima vozači raspolažu (navigacija, televizija itd.) te uporaba komunikacijske opreme (mobiteli i sl.) u današnje su vrijeme uobičajeni tijekom vožnje, ali ujedno i smanjuju vozačevu koncentraciju i odvrćaju mu pozornost s ceste što može dovesti do propuštanja bitne informacije za sigurnu vožnju [17].

### 3.2.5. *Kvaliteta retroreflektirajućega materijala*

Na vidljivost oznaka, posebno u uvjetima smanjene vidljivosti, izravno utječe kvaliteta i količina retroreflektirajućih materijala (staklenih perla). Kvaliteta staklenih perla ovisi o njihovoj granulaciji, indeksu loma, okruglosti i čistoći te kemijskom premazu koji omogućava čvršće povezivanje perla s materijalom od kojega je oznaka izvedena. S gledišta staklenih perla vidljivost oznaka na kolniku ovisi o stupnju utiskivanja staklenih perla, gustoći perla na površini materijala, načinu raspodjele perla po površini oznake itd.

#### a) *Granulacija*

Granulacija staklenih perla odnosi se na raspon njihovih veličina u pakiranju perla. Uobičajene su granulacije perla između 50  $\mu\text{m}$  i 1200  $\mu\text{m}$  (Slika 17.). Miješanje perla različitih granulacija preporučuje se za postizanje zadovoljavajuće inicijalne retrorefleksije, kao i za održavanje odgovarajuće retrorefleksije tijekom dužega vremenskoga perioda [90].



Slika 17. Staklene perle različitih granulacija

*Izvor:* [91]

Staklene perle većih granulacija najčešće se koriste za Tip II oznake, odnosno za oznake s povećanom sposobnosti retrorefleksije u mokrim i kišnim uvjetima [67]. Općenito, s



povećanjem granulacije staklenih perla, rast će i retrorefleksija oznake u suhim te u mokrim i kišnim uvjetima [92] [93] [84]. Također, staklene perle veće granulacije imaju kraće vrijeme vraćanja na razinu retrorefleksije u suhim uvjetima nakon kiše.

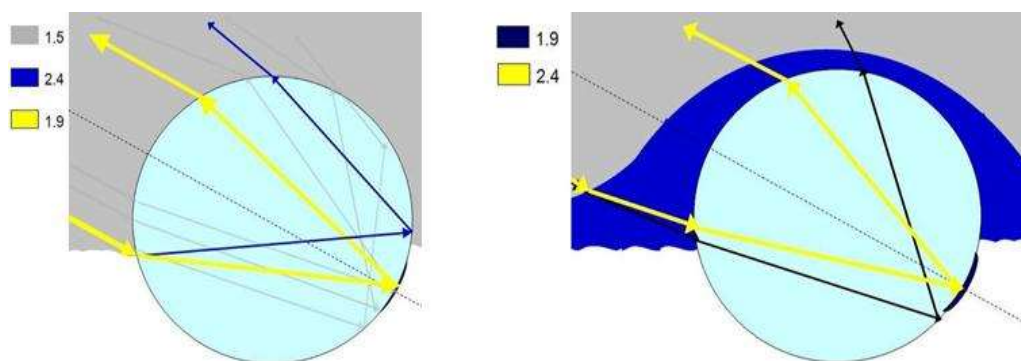
#### b) Indeks loma

Indeks loma (RI) odnosno refrakcije predstavlja međudjelovanje svjetlosti i optički prozirne tvari, a definiran je kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u tvari [67]. Kako je prema studiji [94] refrakcija skretanje svjetlosnih zraka ili zraka drugoga elektromagnetskoga zračenja pri prijelazu iz jednoga sredstva u drugo zbog razlike u brzini širenja valova u različitim sredstvima, može se reći da RI kod staklenih perla za oznake na kolniku određuje koliko će se svjetlosti slomiti te gdje će se ta svjetlost fokusirati [90].

U skladu s važećom europskom regulativom, ovisno o indeksu loma, staklene perle za oznake na kolniku dijele se u tri klase, a to su [67]:

- klasa A =  $RI \geq 1,5$
- klasa B =  $RI \geq 1,7$
- klasa C =  $RI \geq 1,9$ .

U suhim uvjetima najveća se optička učinkovitost staklenih perla za oznake na kolniku postiže s indeksom loma 1,9. Razlog je tomu što pri indeksu loma od 1,9 staklene perle lome svjetlost oko ekvatora perle. Perle s 1,5 RI lomit će svjetlost iznad ekvatora perle, dok će perle s većim indeksom loma (2,4) lomiti svjetlost ispod ekvatora kao što je prikazano na Slici 18. [95].



Slika 18. Prikaz retrorefleksije svjetlosti pri različitim indeksima loma staklenih perla

Izvor: [81]

Sam indeks loma perle ovisi o kemijskom sastavu materijala perle. U skladu s tim perle klase A izrađene su od recikliranoga drobljenoga prozorskoga stakla, dok su perle klase B i C izrađene od čistoga stakla. S obzirom na cijenu sirovine, a time i proizvodnje, perle klase A u praksi su najčešće korištene.

### *c) Okruglost i čistoća*

Okruglost će retroreflektirajućih materijala utjecati na njihova retroreflektirajuća svojstva, pa će tako perle s većom okruglošću reflektirati bolje od perla nesavršenoga oblika. Uobičajena okruglost staklenih perla kreće od 70 % pa sve do preko 95 % te isključivo ovisi o proizvodnom procesu i tehnologiji samoga proizvođača [90].

Čistoća će staklene perle, kao i okruglost, utjecati na retroreflektirajuća svojstva samoga materijala. Pod čistoćom se podrazumijeva izostanak bilo kakvih čestica, zračnih balončića, maglice, oštećenja i sl. na perli ili u samoj perli, a ona će ovisiti o kvaliteti sirovine (novo ili reciklirano staklo) te o proizvodnom procesu i tehnologiji proizvođača [90].

### *d) Kemijski premaz*

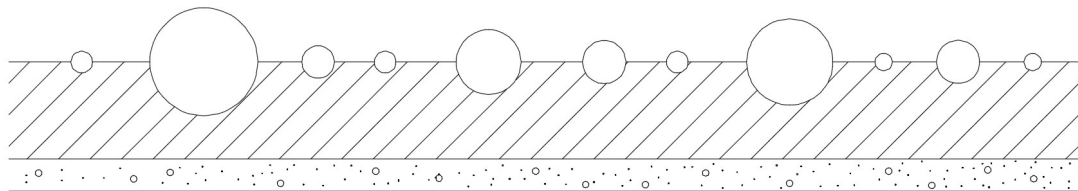
Retroreflektirajući materijali za oznake na kolniku premazuju se, ovisno o proizvođaču, različitim kemijskim premazima kojima se povećava njihovo prijanjanje u materijal od kojega se izvodi oznaka te se osigurava optimalan stupanj utisnuća staklene perle u materijal [96]. Tri su osnovna i najčešće korištena kemijska premaza [90]: premaz koji povećava otpornost na vlagu, premaz koji osigurava optimalan stupanj utiskivanja perla u materijal oznake te premaz koji sprječava potonuće perla u materijal.

Premaz koji povećava otpornost na vlagu najčešće se koristi za oznake koje se izvode u vlažnim područjima gdje se pri izvođenju perle mogu „zgrudati” zbog vlage, odnosno može doći do začepljenja u sustavu. Primjenom navedenoga premaza umanjuju se poteškoće pri izvođenju oznaka te pri skladištenju u navedenim uvjetima, no njime se ne povećava vidljivost u noćnim uvjetima [90].

Kako se za izvođenje oznaka koriste različiti materijali te vrste i granulacije perla, ponekad je vrlo teško osigurati optimalan stupanj utisnuća perle u materijal. Primjena perla većih granulacija, različite debljine sloja materijala, vremenski uvjeti te ispravnost opreme i znanje odnosno iskustvo samih izvođača uvelike mogu utjecati na stupanj utisnuća perla, a time i na retrorefleksiju te trajanje samih oznaka. Iz navedenih se razloga koriste premazi koji osiguravaju optimalan stupanj utiskivanja perle u materijal te učvršćuju fizičku vezu između materijala i perla što dovodi do značajno veće retrorefleksije i duže trajnosti oznaka [93].

Treći najčešće korišteni premaz omogućuje da staklene perle, neovisno o tom kojih su granulacija, „plutaju” na površini oznake pri izvođenju umjesto da potonu u materijal. Time se, nakon sušenja oznake, povećava retrorefleksija s obzirom na to da su sve perle na površini i reflektiraju (Slika 19.). Iako navedeni premaz osigurava kvalitetnu početnu retrorefleksiju,

oznake će s takvim perlama biti kraćega trajanja. Naime, kako navedeni premaz omogućuje staklenim perlama „plutanje” na površini materijala, ispod površine nema perla, što znači da će se trošenjem površinskoga sloja materijala potrošiti odnosno skinuti i sav retroreflektirajući materijal [90].



Slika 19. Prikaz „plutajućih” perla u oznaci na kolniku

Izvor: [39]

### 3.2.6. Način izvođenja oznaka

#### a) Stupanj utisnuća retroreflektirajućega materijala u oznaci

Kao što je navedeno u dijelu koji opisuje kemijske premaze koji su korišteni za retroreflektirajuće materijale, stupanj utisnuća retroreflektirajućega materijala u oznaci značajno utječe na retrorefleksiju i trajnost same oznake. Ovisno o granulaciji stupanj utisnuća staklenih perla varira između 50 % i 60 % njihovoga volumena kao što je prikazano na Slici 20. [95] [97] [84].



Slika 20. Prikaz optimalnoga utisnuća staklenih perla u materijal

Izvor: [96]

Ukoliko je staklena perla utisnuta manje od navedenoga postotka svoga volumena (Slika 21.), njezina će retrorefleksija i vijek trajanja biti umanjeni. Nedovoljno utisnute perle neće imati dovoljno jaku povezanost s materijalom te će zbog djelovanja trenja i sila pri prelasku kotača vozila ili ralica lako otpasti što će dovesti do brže degradacije retrorefleksije oznake, a time i trajanja same oznake [97]. S obzirom na malu površinu unutar materijala zraka svjetla neće se

moći uvijek reflektirati od materijala nazad vozaču, već će proći kroz perlu što će umanjiti retrorefleksiju [90].



Slika 21. Prikaz nedovoljnoga utisnuća staklenih perla u materijal

*Izvor:* [96]

S druge strane, ukoliko je staklena perla utisnuta više od navedenoga postotka volumena, umanjit će se njezina inicijalna retrorefleksija jer će površina kroz koju svjetlost može ući u perlu i reflektirati se nazad prema izvoru biti manja. Međutim, oznake s preutisnutim perlama imat će generalno duži vijek trajanja u odnosu na oznake s nedovoljno utisnutim perlama. Naime, tijekom eksploatacije i trošenja oznake, navedene će perle polako izlaziti na površinu materijala i održavati retrorefleksiju tijekom dužega vremenskoga perioda [90].

Pri izvođenju je oznaka nemoguće osigurati optimalno utisnuće svih perla te će određena količina perla biti utisnuta više od 60 %, dok će ostatak biti utisnut manje od 50 %. Nove oznake imat će 70 % svih perla utisnutih preko 60 % ili u potpunosti, a 30 % perla bit će optimalno utisnuto ili će biti premalo utisnuto [95] [98]. Odstupanja su od optimalnoga utisnuća u određenoj mjeri i poželjna jer će se s perlama koje nisu dovoljno utisnute osigurati inicijalna retrorefleksija, a s perlama koje su preutisnute osigurat će se konzistentnost retrorefleksije tijekom vremena.

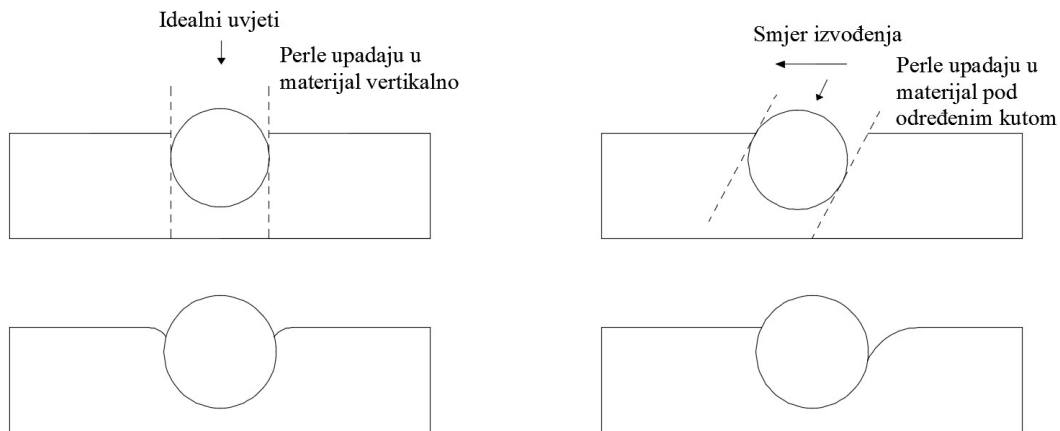
*b) Gustoća i način raspodjele retroreflektirajućega materijala na oznaci*

Gustoća je retroreflektirajućega materijala na oznaci prema studiji [11] definirana kao postotak površine staklenih perla iznad materijala oznake. Na gustoću i način raspodjele retroreflektirajućega materijala utječu brzina izvođenja oznaka, visina pištolja za nanošenje materijala i staklenih perla, razmak između navedenih pištolja, vanjski uvjeti, viskozitet materijala itd. [90].

Može se zaključiti kako s povećanjem gustoće retroreflektirajućega materijala raste i retrorefleksija oznake [11]. Međutim, retrorefleksija oznake rast će s gustoćom do određene mjere te je iz prakse poznato kako prevelika količina retroreflektirajućega materijala može dovesti do smanjenja retrorefleksije, ali i trajanja oznake. Naime, zbog prevelike gustoće staklene se perle ne mogu odgovarajuće utisnuti u materijal. U skladu s dosadašnjim praktičnim spoznajama optimalna gustoća retroreflektirajućega materijala iznosi 300 – 500 g/m<sup>2</sup> [81] [84]. Osim gustoće za kvalitetnu je retrorefleksiju oznaka važna i ravnomjerna raspodjela retroreflektirajućega materijala po cijeloj širini oznake [84]. S obzirom na to da je oznaka vidljiva noću i u uvjetima smanjene vidljivosti isključivo ako ima retroreflektirajućega materijala, može se zaključiti kako će, ukoliko retroreflektirajući materijal prekriva npr. 50 % širine oznake, samo taj dio oznake biti vidljiv, što će ujedno dovesti i do krive percepcije širine oznake. Neravnomjerna je raspodjela staklenih perla po širini oznake najčešće uzrok određenih problema pri izvođenju kao što su začepljenje u sustavu za nanošenje perla, nepravilno postavljanje pištolja za izbacivanje perla, neodgovarajuće namješten tlak pri kojem se perle nanose itd.

*c) Utjecaj smjera izvođenja na retrorefleksiju oznaka*

Uz način raspodjele retroreflektirajućega materijala po oznaci veže se i još jedan efekt koji može dovesti do različitih razina retrorefleksije iste oznake ovisno o smjeru izvođenja. Naime, pri izvođenju je oznaka moguće da zbog izlaska perle iz pištolja ista, zbog djelovanja horizontalne brzine, u materijal upadne pod određenim kutom kao što je prikazano na Slici 22. [99]. Iz navedenoga je razloga dio perle (gledano iz suprotnoga smjera od smjera izvođenja) prekriven materijalom što, prema rezultatima istraživanja koje je provedeno u studiji [99], umanjuje retrorefleksiju bojanih oznaka za 20 – 30 mcd/lx/m<sup>2</sup> kod postojećih oznaka te za 54 – 74 mcd/lx/m<sup>2</sup> kod obnovljenih (novih) oznaka. Slično je zabilježeno i kod termoplastičnih oznaka gdje razlika između retrorefleksije oznaka u smjeru i suprotnom smjeru iznosi 9,6 % [100].



Slika 22. Različit kut utisnuća perla u oznaci

Izvor: [99]

U najnovijem je istraživanju utjecaja smjera izvođenja na retrorefleksiju oznaka, koje je provedeno u studiji [101], primjenom sofisticirane dinamičke metode mjerenja retrorefleksije zaključeno da je utjecaj smjera izvođenja bojanih i neprofiliranih termoplastičnih oznaka na njihovu retrorefleksiju statistički zanemariv. Značajan je utjecaj smjera zabilježen kod strukturiranih oznaka koje su izvedene hladnom plastikom, što autori objašnjavaju kao posljedicu struktura oznake. Naime, kako se strukturirane oznake sastoje od niza nepravilnih „brežuljaka”, staklene perle pri izvođenju padaju sa svih strana pa je tako moguće da ih je ponekad više u smjeru izvođenja, a ponekad u suprotnom smjeru što dovodi i do razlike u retrorefleksiji ovisno o smjeru.

#### 4. MATERIJALI ZA IZVOĐENJE OZNAKA NA KOLNIKU

Oznake na kolniku cjeline su vezane uz kolnički zastor sastavljene od međusobno povezanih materijala u vidu pigmenata, veziva, punila, specijalnih kemikalija te otapala [39]. Pigment u materijalu daje boju oznakama te je najčešće titanium dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) za oznake bijele boje te modificirani krom ( $\text{PbCrO}_4$ ) za žute oznake. Punila su najčešće inertni anorganski spojevi koji povećavaju čvrstoću i otpornost na habanje materijala. Najčešće su korištena punila za oznake na kolniku silika, barijev sulfat, kalcijev karbonat itd. Specijalne kemikalije osiguravaju stabilnost sustava te optimiziraju učinke ostalih elemenata u materijalu, dok otapala omogućavaju razrjeđivanje i modificiranje viskoznosti samoga materijala. Danas na tržištu postoji širok spektar otapala, od onih na bazi kloriranih guma, alkaida, stiren-akrilata itd. do onih na bazi vode, ali i materijala koji ne koriste otapala kao što je termoplastika [102].

Od prve je primjene oznaka 1917. godine u SAD-u pa do danas razvijen niz materijala za njihovo izvođenje od kojih svaki ima određene prednosti, ali i nedostatke. Odabir odgovarajućega materijala ovisi o prometnim, klimatskim i geografskim uvjetima na cesti na kojoj se materijal primjenjuje. Prometni, klimatski i geografski uvjeti vezani su uz količinu i strukturu prometa na cesti, učestalost loših vremenskih prilika, interval trajanja zimskih uvjeta, stanje i kvalitetu kolnika, preusmjerenja vozila s drugih cesta itd. Razlike se u pojedinim materijalima očituju u načinu primjene, vijeku trajanja, cijeni, debljini nanosa te strukturalnim značajkama [17]. Podjelu je materijala za oznake na kolniku teško jednoznačno kategorizirati. Jedan je način podjele na temelju otapala te se materijali dijele na one na bazi otapala (engl. *Solventborne*), na one na bazi vode (engl. *Waterborne*) te na materijale koji ne koriste otapala. Drugi je način podjele na temelju njihovoga trajanja te se materijali dijele na materijale za trajno<sup>2</sup> označavanje te na materijale za privremeno označavanje. Također, česta je podjela i prema kemijskom sastavu, debljini nanosa i retroreflektirajućim svojstvima u mokrim i kišnim uvjetima [57]. Međutim, najčešća je podjela prema vrsti materijala te se u skladu s tim oznake mogu kategorizirati na [17]:

- boje
- plastične materijale
- trake.

---

<sup>2</sup> Trajno u ovom slučaju podrazumijeva do trenutka kada oznake više ne zadovoljavaju minimalne zahtjeve kvalitete.

## 4.1. Boje

Boje kao materijal za izvođenje oznaka na kolniku predstavljaju najčešće korišten materijal, kako u RH, tako i širom svijeta. To su tankoslojni (debljina je nanosa između 200 i 500  $\mu\text{m}$ ) i najčešće jednokomponentni materijali koji se sastoje od triju glavnih elemenata, a to su: vezivni element, pigment i otapalo [39].

Vezivni element daje masu, odnosno predstavlja bazni dio samoga materijala. Sastoji se od sušenoga ulja (alkidne smole), smolastih i uljno smolastih sastojaka (ranije su se koristile klorirane gume ili alkidne smole, dok se u novije vrijeme koriste stiren-akrilati, akril-alkidne mješavine ili 100 %-tni akrilati) te plastifikatora koji omogućava prijanjanje na podlogu i koheziju materijala. Pigmenti daju neprozirnost, boju te tvrdoću. Optimalna koncentracija volumena pigmenata za zadovoljavajuće trajanje oznaka kreće se u rasponu od 42 % do 59 % [39].

Glavna je prednost boja u odnosu na druge materijale njihova cijena i jednostavnost primjene. Iako su najkorišteniji i najjeftiniji materijal za izvođenje oznaka, boje su i najlošiji materijal s obzirom na trajanje. Naime, zbog relativno tankoga sloja materijala brzo se troše i gube retroreflektirajuća svojstva zbog čega je i njihovo trajanje najkraće u odnosu na ostale materijale te uglavnom iznosi između 6 i 12 mjeseci [39] [84]. Kako se izvode najčešće krajem proljeća, njihova vidljivost u roku od 4 do 6 mjeseci vidno opada, a to znači da dolaskom jeseni, a time i kraćih dana i nepovoljnih vremenskih uvjeta, bojane oznake postaju slabo vidljive. U područjima s jakim zimama zbog djelovanja zimske službe dolazi do njihovoga intenzivnijega trošenja. Upravo u tim nepovoljnim uvjetima oznake na kolniku trebaju biti najveća pomoć sudionicima u prometu, a to zbog kratkoga vijeka trajanja oznake na kolniku koje su izrađene bojom ne mogu osigurati [17].

Osim trajnosti važna je karakteristika oznaka na kolniku i njihova vidljivost odnosno razina retrorefleksije koja se kod bojanih oznaka postiže retroreflektirajućim elementima odnosno staklenim perlama koje se dodaju tijekom izvođenja. Općenito, inicijalna retrorefleksija<sup>3</sup> bojanih oznaka iznosi 200 – 400  $\text{mcd/lx/m}^2$ , a optimalna je količina staklenih perla 400 – 600  $\text{g/m}^2$  [57].

---

<sup>3</sup> Inicijalna je retrorefleksija retrorefleksija neposredno nakon izvođenja oznaka.



Iz svega se navedenoga može zaključiti da su glavne karakteristike boje kao materijala za izvođenje oznaka na kolniku sljedeće [17] [84] [39]:

- kratak vijek trajanja
- tekuće stanje te tankoslojnost
- relativno slaba razina retrorefleksije
- slaba vidljivost u mokrim i kišnim uvjetima
- niska cijena i jednostavna aplikacija.

#### **4.1.1. Izvođenje bojanih oznaka na kolniku**

Izvođenje bojanih oznaka na kolniku može se izvršiti primjenom različitih strojeva koji se općenito dijele prema veličini stroja. Za manje poslove označavanja kao što je označavanje pješačkih prijelaza te drugih poprečnih i ostalih oznaka kao i kraćih dionica uzdužnih oznaka koriste se samohodni strojevi maloga kapaciteta (Slika 23. lijevo) ili sustavi koji koriste samo kompresor povezan s pištoljem za nanošenje boje. Za označavanja većih dionica uzdužnih oznaka na kolniku koriste se strojevi većih kapaciteta koji imaju posebne spremnike za boju i staklene perle (Slika 23. desno).



Slika 23. Izvođenje bojanih oznaka strojem maloga (lijevo) i većega (desno) kapaciteta

*Izvor:* [103] [104]

Boja se pod tlakom raspršuje po površini kolnika s pomoću pištolja za nanošenje. Iza pištolja za nanošenje boje postavljen je pištolj za nanošenje staklenih perla koji također pod tlakom izbacuje perle u mokri sloj boje na kolniku kao što je prikazano na Slici 24.



Slika 24. Prikaz nanošenja boje i staklenih perla na kolnik

Izvor: [105]

Oprema, tehnika i tehnologija primjene kao i stručnost ekipe koja izvodi oznake uvelike utječu na konačnu kvalitetu i trajanje oznake. Ukoliko je asfalt nov, prije samoga izvođenja oznaka vrši se predoznačavanje kako bi vozač stroja tijekom izvođenja mogao pratiti i osigurati geometriju oznake. Normalni uvjeti izvođenja bojanih oznaka imaju sljedeće parametre [39]:

- maksimalnu brzinu vozila za automatsko nanošenje: 12 km/h
- debljinu boje: 0,6 mm
- gustoću rasipanja dodatnih elemenata: 160 g/m<sup>2</sup>
- gustoću rasipanja perla: 400 g/m<sup>2</sup>
- nužno vrijeme sušenja: 3 min
- dovoljno vrijeme sušenja: 6 h.

#### **4.1.2. Podjela boja kao materijala za izvođenje oznaka na kolniku**

Podjela boja kao materijala za izvođenje oznaka na kolniku može se izvršiti na temelju dvaju kriterija, a to su: vrijeme sušenja te vrsta otapala.

Na vrijeme sušenja bojanih oznaka utječu vremenski uvjeti pri izvođenju oznaka, kemijski sastav materijala, temperatura i vrsta kolnika, brzina vjetra te debljina nanosa boje na kolnik. Prema studiji [39] s obzirom na vrijeme sušenja boje se dijele na:

- konvencionalne: boje sa standardnim viskozitetom, zahtijevaju više od 7 minuta za sušenje
- umjereno brzосуšeće: boje koje se suše u roku od 2 do 7 minuta
- brzосуšeće: boje koje se suše u roku od 30 do 120 sekunda

- momentalno ili instantnosušeće: boje koje se suše za manje od 30 sekunda.

Prema vrsti otapala, što je i najznačajnija podjela, boje kao materijali za oznake na kolniku dijele se na:

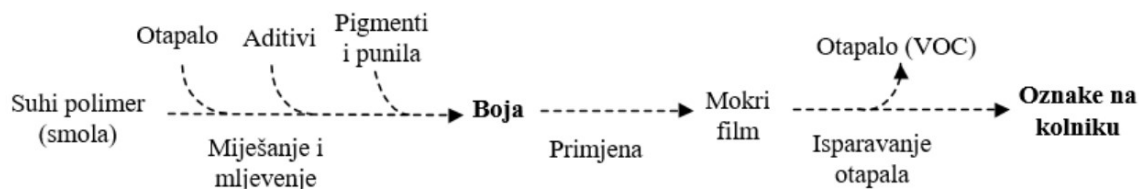
- boje na bazi otapala (engl. *Solventborne paints*)
- boje na bazi vode (engl. *Waterborne paints*).

a) *Boje na bazi otapala*

Boje na bazi otapala koriste različite vrste otapala kako bi se osiguralo sušenje i učvršćivanje materijala nakon izvođenja. U ranim su se etapama kao otapala koristile klorirane gume ili alkidne smole, dok se u novije vrijeme koriste stiren-akrilati, akril-alkidne mješavine ili 100 %-tni akrilati. Iako su štetna za okoliš i za ljudsko zdravlje, u zemljama u kojima su još dozvoljena, koriste se i aromatska otapala. Razlog je tomu njihova cijena (koja je niža u odnosu na ostala otapala), bolja kontrola sušenja te općenito bolje prianjanje na kolnik.

Dok je zapakirana u ambalažu, boja na bazi otapala u tekućem je stanju upravo zbog otapala. S izvođenjem oznake otapalo razgrađuje odnosno otapa vezivo te time suši oznaku koja prelazi u kruto stanje. Brzina otapanja veziva utječe na brzinu sušenja oznake. Tijekom procesa sušenja otapala isparavaju u zrak kao hlapljivi organski spojevi odnosno VOC (engl. *Volatile Organic Compound*). Uvođenjem je ograničenja vezanih uz VOC korištenje određenih otapala (kao što su klorirane gume) smanjeno te se danas boje na bazi takvih otapala gotovo i ne koriste za izvođenje oznaka na kolniku. Tipično, razina VOC-a kod boja na bazi otapala iznosi između 400 i 500 g/L (~ 25%) [57].

Struktura je bojanih oznaka na kolniku prikazana na Slici 25.



Slika 25. Struktura boja na bazi otapala

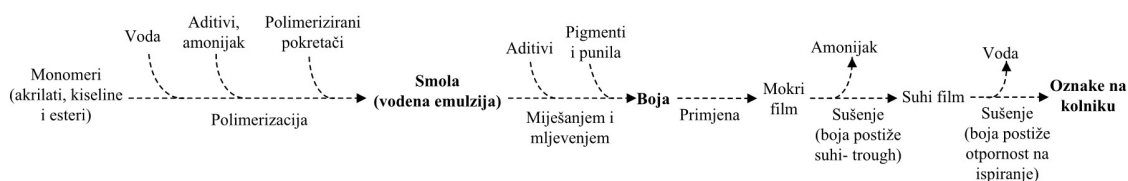
Izvor: [57]

Boje na bazi otapala trebale bi biti kemijski stabilne te skladištene prema uputama proizvođača. Također, trebale bi zadržavati stalnu razinu viskoznosti te se u što manjoj mjeri stvrdnjavati, taložiti, dobivati želatinastu strukturu i „koricu” na vrhu te mijenjati boju. Ovisno o proizvođaču izvode se tipično pri temperaturi zraka između 5 i 40 °C i površinskoj temperaturi

kolnika manjoj od 50 °C. Kolnik pri izvođenju mora biti čist i suh, a temperatura iznad točke rosišta. Sušenje je, kao što je već navedeno, pod snažnim utjecajem zraka i površinske temperature, protoka zraka, debljine nanosa te vrste korištenoga otapala [84].

#### a) Boje na bazi vode

Komercijalna je upotreba boja na bazi vode kao materijala za označavanje kolnika započela 1980-ih godina te su u osnovi vodene boje vrlo slične bojama na bazi otapala iako je sam proces malo složeniji. Kod boja na bazi otapala isparavanjem otapala materijal se suši i učvršćuje, dok se kod vodenih boja isti proces temelji na isparavanju vode (Slika 26.). Iako su prve vodene boje bile sporosušeeće te su imale kratak vijek trajanja, razvoj je suvremenih veziva omogućio njihovu širu primjenu.



Slika 26. Struktura boja na bazi vode

Izvor: [57]

Glavne su prednosti vodenih boja vezane uz njihovu nisku cijenu te uz vrlo dobru stabilnost za vrijeme skladištenja. S druge strane, njihov je glavni nedostatak vrijeme koje je potrebno da materijal stekne otpornost na ispiranje (engl. *washout time*). Naime, kako je navedeni materijal baziran na vodi, ukoliko u određenom periodu nakon izvođenja materijal dođe u doticaj s vodom, on se jednostavno razvodnjava i razlijeva. Boja postaje otporna na ispiranje kada na nju više ne utječe kiša odnosno voda, a vrijeme potrebno za to uvelike ovisi o kemijskom sastavu, odnosno o korištenim vezivima i aditivima [57].

Kao i kod boja na bazi otapala vodene su boje spremne za primjenu u stanju u kojem su isporučene. Manji je porast viskoziteta normalan te se, ukoliko je potrebno, za razrjeđivanje može koristiti manja količina vode. Također, oprema i postupci pri izvođenju isti su kao i kod boja na bazi otapala uz dvije iznimke. Kako bi se izbjeglo hrđanje, dijelovi trebaju biti nehrđajući te se ne smije dopustiti sušenje boje u stroju [84].

Izvode se na bilo kojoj vrsti kolnika te se mogu nanositi na već postojeće oznake bez obzira na njihov materijal. Moguće ih je izvoditi s debljinama nanosa od 900 μm ili više bez značajnijega utjecaja na vrijeme sušenja. Također, s debljim slojem materijala omogućava se primjena staklenih perla većih granulacija što pozitivno utječe na vidljivost oznake u uvjetima smanjene

vidljivosti. S ekološkoga gledišta vodene boje imaju razinu VOC-a manju od 50 g/l (~2%), što je značajno manje u odnosu na boje na bazi otapala zbog čega se često koriste u zemljama s određenim ekološkim ograničenjima kao što su skandinavske zemlje u kojima su boje na bazi otapala zabranjene [57].

Pravilno izvedene vodene boje imaju vijek trajanja oko godinu dana u standardnim uvjetima [84]. Međutim, suvremene vodene boje mogu imati vijek trajanja duži od dviju godina kao što je pokazalo istraživanje provedeno u studiji [106].

#### 4.2. Plastični materijali

Plastični materijali ubrajaju se u skupinu debeloslojnih i višekomponentnih materijala za izvođenje oznaka na kolniku koji se u pravilu sastoje od sintetičkih veziva, prirodnih ili umjetnih smola, pigmentata, punila te staklenih perla kao retroreflektirajućih materijala. Zbog kompaktnosti i veće gustoće samoga materijala oznake izvedene plastičnim materijalima moguće je izvesti debljim slojem koji iznosi od 1 do 3 mm za neprofilirane oznake te maksimalno do 6 mm za profilirane oznake [17]. Neprofilirane su oznake one oznake čija je površina ravna, dok profilirane oznake imaju izdignuća odnosno profile kao što je prikazano na Slici 27. Glavna je prednost profiliranih oznaka njihova bolja vidljivost u mokrim i kišnim uvjetima s obzirom na to da, zbog debljine nanosa, profili ostaju iznad sloja vode te osiguravaju odgovarajuću retrorefleksiju.

Osim bolje vidljivosti za vrijeme mokroga kolnika profilirane oznake, postavljene kao rubne linije, upozoravaju vozače da su se približili rubu ceste. S obzirom na profiliranost oznake pri prelasku kotača vozila preko njih dolazi do stvaranja vibracija i specifičnoga zvučnoga efekta čime se znatno može utjecati na učestalost prometnih nesreća koje su nastale zbog izlijetanja vozila s ceste [17].



Slika 27. Prikaz neprofilirane (slika lijevo) i profilirane oznake (slika desno) izvedene plastičnim materijalima

Zbog veće debljine nanosa vijek je trajanja plastičnih oznaka u odnosu na bojane znatno duži te on iznosi u pravilu između triju i šest godina [39] [84]. Također, iz istoga se razloga u navedene materijale retroreflektirajući elementi (staklene perle) ugrađuju tvornički ili se dodaju pri pripremi materijala, ali se i nanose tijekom izvođenja kao kod bojanih oznaka. Time se osigurava inicijalna retrorefleksija oznaka, ali i retrorefleksija tijekom eksploatacije oznake. Kako vrijeme prolazi, oznaka se troši i staklene perle na njezinoj površini otpadaju, no kako su staklene perle ugrađene i tvornički u materijal, nove će perle stalno „izlaziti” na površinu oznake i osiguravati odgovarajuću razinu retrorefleksije.

Oznake koje su izvedene plastičnim materijalima mogu se postavljati na kolnik hladne ili pri povišenoj temperaturi te se prema tomu dijele u dvije osnovne skupine, a to su: termoplastika i hladna plastika [17].

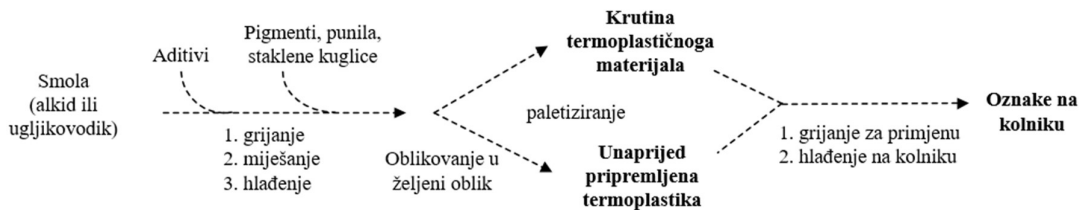
#### **4.2.1. Termoplastika**

Termoplastiku je kao materijal za izvođenje oznaka na kolniku razvila i patentirala 1933. godine tvrtka *R. S. Klara & Co Ltd Liverpool* te je sam materijal, iako u uporabi više od 80 godina, i dalje jedan od najuspješnijih te najkorištenijih materijala za izvođenje oznaka na kolniku [57].

Kao što je već navedeno, plastični materijali, pa time i termoplastika, ubrajaju se u skupinu višekomponentnih debeloslojnih materijala koji se u pravilu sastoje od pigmenta (koji daje neprozirnost i boju), veziva (koja se sastoje od smole te povezuju ostale komponente u jednu cjelinu pružajući im čvrstoću, fleksibilnost i snagu), punila (obično kalcijev karbonat, pijesak, ili oboje) te staklenih perla koje su ugrađene u materijal.

Prema vrsti korištenoga veziva termoplastični se materijali dijele na one bazirane na ugljikovodiku te na alkidne. Veziva na bazi ugljikovodika dobivena su iz nafte, dok su alkidna veziva prirodne smole dobivene iz drveta [39].

Proizvodnja termoplastičnih materijala provodi se pri visokim temperaturama, a materijal se zatim suši i pakira ili se formira u željeni oblik za izvedbu unaprijed pripremljenih oznaka na kolniku koje se zatim toplinskim zagrijavanjem lijepe na površinu kolnika. Tipično, termoplastika se na tržištu pojavljuje u blokovima ili u prahu, a prije same primjene zagrijava se i kuha na temperaturi od oko 200 °C [57]. Proces je proizvodnje i pripreme termoplastičnih materijala prikazan na Slici 28.



Slika 28. Proces proizvodnje i pripreme termoplastičnih materijala

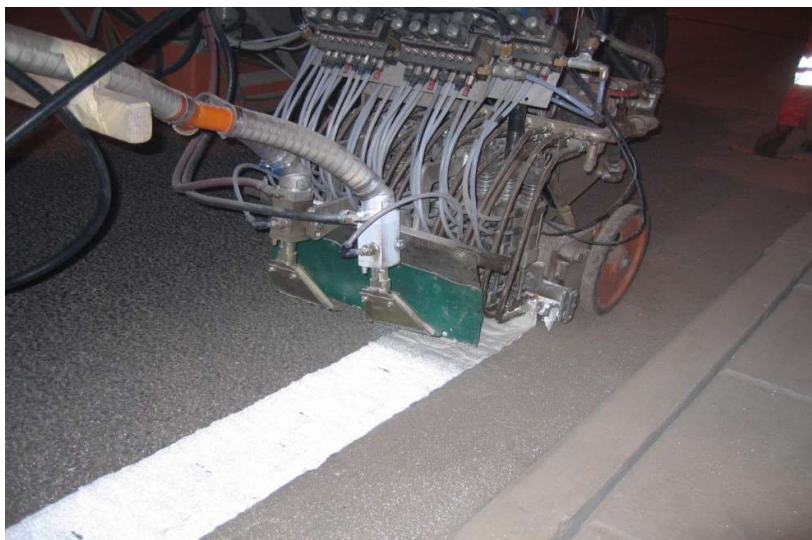
Izvor: [57]

Zagrijavanje i kuhanje termoplastike vrši se u specijalnim kotlovima te sam proces pripreme materijala traje oko dva sata za termoplastiku u prahu te oko sat i pol za termoplastiku u blokovima [17] (Slika 29.). Tijekom procesa zagrijavanja i kuhanja u smjesu termoplastike dodaju se retroreflektirajući elementi kako bi se osigurala vidljivost oznaka tijekom dužega vremenskoga perioda, a s obzirom na debljinu nanosa materijala.



Slika 29. Proces pripreme termoplastičnih materijala

Izvođenje je termoplastičnih oznaka moguće „špricanjem” ili češće ekstruzijom primjenom posebnih uređaja za izvođenje (engl. *Extruders*) kao što je prikazano na Slici 30. Tijekom izvođenja dodaju se i dodatni retroreflektirajući elementi koji osiguravaju inicijalnu retrorefleksiju oznake te protuklizni elementi za povećanje trenja odnosno smanjivanja klizavosti oznake.



Slika 30. Izvođenje termoplastičnih oznaka primjenom „Extrudera”

Kako bi se osigurala kvalitetna povezanost termoplastičnih materijala i kolnika, sam kolnik mora biti čist bez većih tragova prljavštine, prašine, ulja ili drugih nečistoća. Također, kolnik mora biti suh, a njegova bi temperatura kao i temperatura zraka trebala biti između 10 i 20 °C [39]. Osiguravanje odgovarajućih uvjeta te pravilna priprema površine ključni su za kvalitetu i dugotrajnost termoplastičnih materijala jer određene nečistoće mogu umanjiti čvrstoću veze između materijala i kolnika što će tijekom vremena prouzročiti ljuštenje i otpadanje materijala. Već desetak minuta nakon izvođenja masa se stvrdnjava te se preko oznaka može normalno voziti.

Termoplastične oznake mogu se, kao što je već navedeno, izvoditi kao neprofilirane i profilirane. Najčešće se izvode neprofilirane uzdužne oznake, no u određenim slučajevima profilirane ili kombinirane neprofilirane i profilirane crte izvode se kako bi se povećala sigurnost prometa na određenoj dionici [17]. Osim profiliranih i neprofiliranih u novije vrijeme termoplastične se oznake izvode i kao strukturirane. Glavna je prednost strukturiranih oznaka njihova sposobnost odvodnje vode čime se povećava vidljivost u mokrim i kišnim uvjetima kao što je prikazano na Slici 10.

S obzirom na povećanu čvrstoću materijala te na debljinu nanosa termoplastične oznake imaju značajno duži vijek trajanja u odnosu na oznake izvedene bojom. Iako na vijek trajanja oznake utječe niz čimbenika, tipično je trajanje termoplastičnih oznaka (debljina je nanosa 3 mm) između dviju i četiriju godina, a često i duže [39] [84].

Termoplastični materijali najbolje performanse imaju na asfaltnim kolnicima na kojima, zbog visokih temperatura pri izvođenju, dolazi do blagoga topljenja gornjega sloja asfalta te do



termičkoga povezivanja materijala i površine kolnika. Kod betonskih je kolnika veza između površine i materijala isključivo mehaničkoga karaktera te nastaje kada rastopljeni termoplastični materijal dospije u pore betona. Kako je snaga mehaničkih veza uglavnom manja od toplinskih, učestala je pojava na betonskim kolnicima pucanje i ljuštenje termoplastike s površine. Razlog su tomu naprezanja odnosno kontrakcije i ekspanzije betona što uvelike oslabljuje mehaničku vezu [39].

Uz sve je navedeno vrlo važna značajka termoplastičnih materijala i ta da oni ne sadrže otapala niti pri izvođenju zahtijevaju njihovu uporabu. Također, određena su veziva koja se koriste za izradu termoplastičnih materijala iz obnovljivih izvora što ove materijale čini ekološki prihvatljivima.

Jedan je od nedostataka termoplastike njezina boja koja može imati sivkastu nijansu što utječe na njezinu dnevnu vidljivost. Primjena je termoplastike u hladnijim podnebljima ograničena zbog lošega prijanjanja materijala na kolnik pri nižim temperaturama [39]. Također, tijekom eksploatacije moguće je pucanje materijala te njegovo otpadanje (Slika 31.).



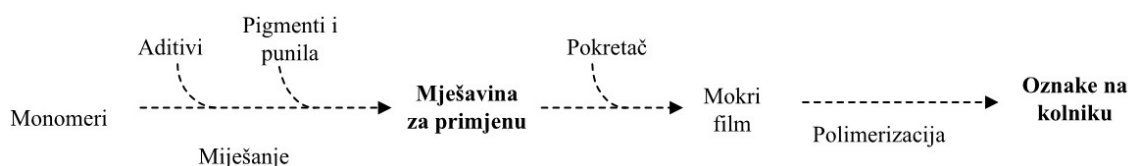
Slika 31. Prikaz oštećene i istrošene termoplastike

#### 4.2.2. Hladna plastika

Hladna plastika, kao i termoplastika, ubraja se u skupinu debeloslojnih i višekomponentnih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Za razliku od termoplastike koja se zagrijava i kuha, hladna se plastika prije izvođenja miješa te se nanosi na kolnik hladna. Točnije, monomeri (u većini slučajeva na bazi akrilata) se miješaju s pigmentima, punilima i protukliznim materijalom te se polimerizacijom kreira iznimno izdržljiv, tvrd i dobro prijanjajući materijal za oznake na kolniku [57].

Hladna se plastika bazira na kemijskoj reakciji dvaju odvojenih reaktanata odnosno dviju komponenata koje se, ovisno o proizvođaču, miješaju u određenim omjerima (50 : 50, 98 : 2, 1 : 1 itd.). Reaktivna se komponenta sastoji od metil metakrilat monomera, pigmenta, punila te retroreflektirajućih elemenata. Druga komponenta dolazi u obliku tekućine ili praha te se dodaje prvoj komponenti i s njom se miješa [22]. Nakon miješanja hladna je plastika spremna za izvođenje.

Shematski je postupak proizvodnje i izvođenja hladne plastike prikazan na Slici 32.



Slika 32. Proces proizvodnje i pripreme hladne plastike

Izvor: [57]

Hladna se plastika izvodi posebnim strojevima na sličan način kao i termoplastika, što znači da može biti „špricana” na kolnik ili izvedena „extruderima”. Uz staklene perle koje su ugrađene u sam materijal, pri izvođenju se dodaju dodatne staklene perle kako bi se osigurala inicijalna retrorefleksija. Izvođenje je moguće pri različitim temperaturama podloge i zraka (od 5 °C do 40 °C) što omogućuje duži vremenski period tijekom godine za izvođenje, no podloga mora biti suha kako bi se osiguralo kvalitetno povezivanje materijala i kolnika [81]. Nakon izvođenja hladna se plastika obično suši između 20 i 30 minuta te se nakon toga perioda preko nje može odvijati normalan promet [57].

Jedna je od prednosti hladne plastike u odnosu na druge materijale njezina sposobnost kvalitetnoga povezivanja na sve vrste kolničkih podloga, od asfaltnih do betonskih, te njena otpornost nakon izvođenja na ulja, antifriz i druge kemikalije koje se obično nalaze na cestama. Također, kao i termoplastika hladna se plastika može izvoditi kao neprofilirana, profilirana te

strukturirana s debljinom nanosa između 1 i 3 mm (neprofilirane oznake), odnosno maksimalno do 6 mm za profilirane i strukturirane oznake [22] [57]. Upravo debljina nanosa te kompaktnost i čvrstoća materijala osiguravaju dugi vijek trajanja oznake koji u pravilu iznosi između triju i pet godina [22].

Među glavne rizike povezane s korištenjem hladne plastike ubraja se primjena monomera koji su zapaljivi i mogu proći kroz nekontroliranu polimerizaciju. Još je jedan veliki rizik povezan s inicijatorom čiji prijevoz zahtijeva posebno označavanje. Također, pri izvođenju je prisutan specifičan miris zbog korištenja akrilnih monomera koji određeni ljudi opisuju kao ugodan, dok drugi kao vrlo agresivan i iritantan.

### **4.3. Trake kao materijali za izvođenje oznaka na kolniku**

Trake kao materijali za izvođenje oznaka na kolniku predstavljaju tvornički proizvedene oznake koje se izvode valjanjem i utiskivanjem u vrući površinski sloj asfalta (*inlay* metoda), lijepljenjem na površinu kolnika ili u posebno izglodane utore u kolniku (*overlay* metoda). Kod *inlay* tehnologije trake se postavljaju neposredno nakon asfaltiranja kolnika, odnosno dok je asfalt još vruć. Nakon postavljanja valjkom se uvaljaju u površinski sloj asfalta čime se pojačava mehanička veza između materijala i podloge. Kod *overlay* tehnologije trake se na stare asfaltne i betonske gornje slojeve ceste lijepe s pomoću posebnih ljepila [39].

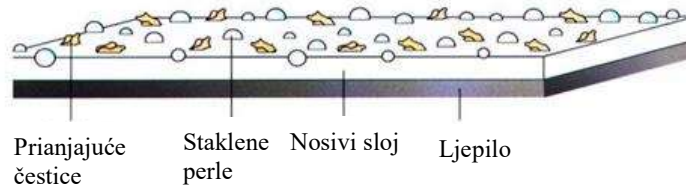
Kako se proizvode tvornički, imaju značajne prednosti nad ostalim materijalima za izvođenje oznaka. Te se prednosti ponajprije očituju u vidljivosti odnosno koeficijentu retrorefleksije i trajnosti samoga materijala. Kako se staklene perle u trake postavljaju pri proizvodnji, osigurana je optimalna količina perla, njihov stupanj utisnuća u materijal, njihova raspodjela po materijalu, povezanost s materijalom itd. To u konačnici omogućava retrorefleksiju i do 1100 mcd/lx/m<sup>2</sup>. Također, vijek je trajanja ovih materijala duži u odnosu na ostale materijale [57]. Osim navedenoga, prednost je traka vezana i uz način primjene. Pri izvođenju ne zahtijevaju skupe strojeve i opremu, iskusne izvođače te zatvaranje prometa zbog sušenja ili stvrdnjavanja. Glavni je nedostatak traka vezan uz njihovu cijenu koja može dosegnuti čak 60 €/m<sup>2</sup> [57]. Visoka cijena ograničava njihovu češću primjenu za označavanje kolnika.

Kao i plastični materijali mogu se proizvoditi kao profilirane, neprofilirane i u određenoj mjeri strukturirane. Prema načinu izvođenja, očekivanom životnom vijeku i sastavu materijala dijele se na stalne i privremene [39].

a) *Trake za trajne oznake na kolniku*

Pod trakama za trajno označavanje kolnika podrazumijevaju se sve one trake čiji je vijek trajanja duži od godinu dana [39]. Najčešće se postavljaju na nove asfaltne površine iako se uz primjenu posebnoga ljepila mogu postavljati i na stare asfaltne površine, kao i na kolnike koji su izrađeni od betonskoga materijala [17].

Izrađuju se od polimerskih ili uretanskih masa debljine između 0,7 i 2,5 mm, a sastoje se od nosivoga sloja, ljepila, prianjajućih čestica te staklenih perla kao što je prikazano na Slici 33. [39].

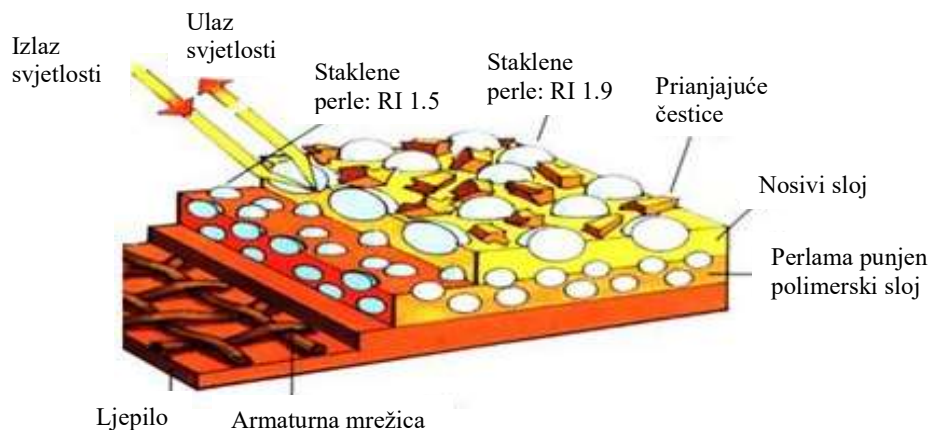


Slika 33. Neprofilirane oznake na kolniku izrađene trakom

Izvor: [107]

b) *Trake za privremene oznake na kolniku*

Trake za privremene oznake na kolniku upotrebljavaju se pri privremenim regulacijama prometa te se u skladu sa svrhom izvode *overlay* metodom, odnosno lijepljenjem na površinu kolnika. Strukturno se razlikuju od traka za trajno označavanje kolnika jer osim nosivoga sloja, ljepila, prianjajućih čestica te staklenih perla imaju još i armaturnu mrežicu (Slika 34.) koja omogućava lakše uklanjanje oznake s kolnika [39]. S obzirom na njihovu namjenu izvode se žutom ili narančastom bojom, kao što je to slučaj u nekim europskim zemljama i RH, kako bi se i bojom ukazalo na specifičnost situacije koja slijedi.



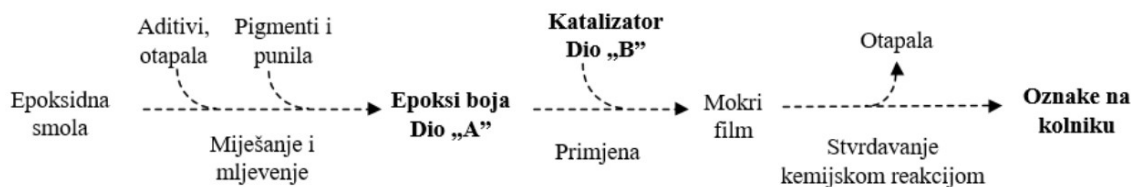
Slika 34. Sastav traka za privremene oznake na kolniku

Izvor: [107]

#### 4.4. Ostali materijali za izvođenje oznaka na kolniku

Osim boja, plastičnih materijala i traka postoji još nekoliko materijala za izvođenje oznaka na kolniku, no njihova je primjena, u odnosu na navedene materijale, manja. Neki su od tih materijala epoksi i lateks boje, urea, uretan, poliester itd. To su u principu dvokomponentni sustavi kod kojih kemijska reakcija između komponenata materijala pri izvođenju osigurava stvaranje izdržljivih materijala čiji je vijek trajanja i do pet godina [57].

Najčešća su alternativa standardnim materijalima (bojama, plastici i trakama) epoksi boje koje su razvijene početkom 70-ih s ciljem stvaranja dugotrajnoga materijala koji će podjednako dobro prijanjati na asfaltne i na betonske podloge [39]. Epoksi boje sadrže smolu, pigmente i punila u jednoj komponenti te poliamin kao drugu komponentu. Komponente se miješaju ili prije izvođenja ili za vrijeme izvođenja (u stroju) u omjerima 1 : 1 ili 1 : 2 te se izvode standardnom opremom i strojevima kao i kod standardnih boja. Zbog svoga su kemijskoga sastava manje temperaturno osjetljive pa se mogu izvoditi i pri niskim temperaturama (do 2 °C) [39]. Zbog visoke je viskoznosti upotreba otapala kod epoksi boja uobičajena zbog čega je udio VOC-a visok te može dosegnuti razinu od 600 g/l. Osim rizika za ljudsko zdravlje i onečišćenje okoline zbog visokoga udjela VOC-a, jedan je od glavnih nedostataka epoksi boja njihova loša otpornost na UV zračenja, što uzrokuje promjenu pigmenta odnosno žutilo [57]. Generički je proces epoksi boja prikazan na Slici 35.



Slika 35. Generički proces epoksi boja

Izvor: [57]

Zbog mogućih je ekoloških i zdravstvenih rizika primjena navedenih materijala na području Europe znatno ograničena. Iako su dugoga vijeka trajanja, visoka je cijena tih materijala također značajan čimbenik koji utječe na obujam njihove primjene.

#### 4.5. Usporedba materijala za izvođenje oznaka na kolniku

Prije izvođenja oznaka na kolniku potrebno je odabrati odgovarajući materijal od kojega će se izvesti oznake. Odabir je materijala uvjetovan s jedne strane financijskim mogućnostima nadležnih cestovnih tijela, odnosno troškovima aplikacije, te s druge strane željenom trajnosti i razinom vidljivosti oznaka. Kako bi se odabrala odgovarajuća tehnologija kojom će se

optimizirati troškovi održavanja zadovoljavajući istovremeno potrebe vozača za vidljivost i ostale sigurnosne aspekte, potrebno je poznavati karakteristike pojedinih materijala te geografske, klimatske i prometne uvjete na cesti na kojoj se oznaka izvodi.

Čimbenici koji utječu na konačni izbor materijala vezani su uz geometriju ceste, vremenske i klimatske uvjete u kojima se cesta nalazi, volumen i strukturu prometa, poziciju oznake, stanje kolničke površine itd. [39].

Kako svaki materijal ima određene prednosti i nedostatke, nužno je znati kako će pojedini čimbenik utjecati na kvalitetu i trajnost pojedinoga materijala. Drugim riječima, ukoliko se cesta nalazi u području u kojem su učestali loši vremenski uvjeti te prisutne duge i jake zime, materijali kao što je hladna plastika ili termoplastika osigurat će duži vijek trajanje te bolju vidljivost oznake u odnosu na npr. boje te time optimizirati troškove održavanja uz osiguravanje zadovoljavajuće razine vidljivosti oznaka koja je potrebna vozačima za sigurno odvijanje prometa. Za ceste koje su u područjima bez jakih zime te na kojima je relativno mali volumen prometa troškovno je neučinkovito izvesti oznake od skupljih materijala. Također, ukoliko je kolnička podloga betonska, ne preporučuje se izvođenje oznaka termoplastikom s obzirom na to da se povezivanje termoplastike i podloge bazira na termičkoj vezi, što kod betonskih podloga nije moguće ostvariti. Prikladnije je koristiti hladnu plastiku ili boje koje se s podlogom povezuju mehanički.

Usporedba pojedinih materijala za oznake na kolniku vrši se na temelju karakteristika materijala koje su vezane uz cijenu, vijek trajanja, razinu VOC-a, zdravstvene i ekološke rizike te rizike pri transportu i skladištenju, debljinu nanosa, jednostavnost pripreme i primjene itd. U Tablici 2. prikazane su glavne karakteristike te prednosti i nedostaci najčešće korištenih materijala za izvođenje oznaka na kolniku.

Tablica 2. Glavne karakteristike materijala za izvođenje oznaka na kolniku

Materijal	Cijena <sup>(a)</sup>	Vijek trajanja	VOC (g/l)	Rizici	Debljina nanosa	Prednosti	Nedostatci
Boja	Niska	Kratko	400–600 (20–35 %)	Zdravstveni i ekološki: visoki Zapaljiv materijal	Mokri film 300–600 µm, Suhi film 200–400 µm	- niska cijena - jednostavnost izvođenja - jednostavnost održavanja opreme	- kratak vijek trajanja - slaba otpornost na UV zračenja - sporo sušenje - visoki ekološki i zdravstveni rizici
Termoplastika	Niska	Dug	<50 (0–1 %)	Umjereni zdravstveni rizici (neugodan miris te visoke temperature pri pripremi materijala); Minimalni ekološki rizici	1000–6000 µm	- dug vijek trajanja s gotovo stalnom razinom retrorefleksije - niski troškovi - jednostavnost primjene	- komplicirana priprema materijala - moguća promjena boje zbog utjecaja asfaltnoga ulja - neodgovarajuća priprema površine prije primjene može utjecati na kvalitetu materijala - osjetljiv na temperaturu zraka - kraći vijek trajanja kod betonskih podloga
Hladna plastika	Visoka	Dug	<50 (0–1 %)	Umjereni zdravstveni i ekološki rizici; Zapaljiv materijal; Pri skladištenju moguća nekontrolirana polimerizacija	1000–6000 µm	- dug vijek trajanja - ne zahtijeva upotrebu otapala - brzosušiv - odlično prijanjanje na sve kolničke podloge	- cijena - potreba za posebnom i skupom opremom za izvođenje - osjetljiv na vlagu i temperature - rizik od moguće nekontrolirane polimerizacije
Trake	Visoka	Umjeren do dug	<50 (0–1 %)	-	1000–3000 µm	- dugotrajnost - jednostavnost izvođenja i uklanjanja oznaka - visok koeficijent retrorefleksije	- cijena - zahtijeva kvalitetnu pripremu kolničke površine

Izvor: [57]

## 5. METODE ISPITIVANJA KVALITETE OZNAKA NA KOLNIKU

Ocjena kvalitete izvedenih oznaka na kolniku temelji se na rezultatima ispitivanja vezanih uz vidljivost, debljinu nanosa, koeficijent otpornosti na klizanje itd. Glavni je cilj provođenja ispitivanja kvalitete oznaka kontrola izvođača nakon izvođenja oznaka te kontrola kvalitete oznaka tijekom eksploatacije s ciljem optimizacije aktivnosti obnavljanja te osiguravanja stalne i zadovoljavajuće razine retrorefleksije oznaka. Drugim riječima, ispitivanjem oznaka nastoji se utjecati na povećanje njihove kvalitete i trajnosti, a time i opće sigurnosti na cestama uz optimiziranje troškova izvođenja i održavanja.

U RH, prema tehničkim uvjetima *Hrvatskih cesta d.o.o.* [108], ispitivanja koja se provode u cilju osiguranja propisane kvalitete oznaka na kolniku jesu: a) prethodna ili ispitivanja pogodnosti, b) tekuća, c) kontrolna, d) dodatna kontrolna ispitivanja, e) arbitražna i f) ispitivanja prije isteka jamstva (ukoliko je isto ugovoreno).

### *a) Prethodna ispitivanja ili ispitivanja pogodnosti*

Prethodna ispitivanja ili ispitivanja pogodnosti podrazumijevaju ispitivanja u funkciji dokazivanja pogodnosti sustava označavanja, tj. materijala koji se namjeravaju koristiti za izvođenje oznaka na kolniku, a na temelju predviđenoga tipa oznaka i propisane kvalitete. Ispitivanja pogodnosti materijala i sustava označavanja provode se u skladu s hrvatskom i europskom normativom: HRN EN 1423:2012, HRN EN 1424:2004, HRN EN 1790:2013, HRN EN 1871:2000, HRN EN 13197:2014, HRN EN 13212:2011 i HRN 13459:2011.

### *b) Vlastita ili tekuća ispitivanja*

Vlastita ili tekuća ispitivanja izvođač oznaka provodi kako bi utvrdio propisanu kvalitetu materijala i izvođenja radova. Ista se, prema pripadajućim normama, provodi stalno tijekom izvođenja radova, a obuhvaća:

- ispitivanje debljine mokroga i suhoga sloja boje (bez staklenih perla), sloja plastične mase ili traka za oznake na kolniku
- ispitivanja dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake TIP II) i otpornosti na klizanje (izražene kao SRT – vrijednost)
- ispitivanje geometrije oznaka u smislu izvedene širine i duljine oznake na svakih 5 000 m izvedene oznake (posebno za razdjelne i rubne crte).



*c) Kontrolna ispitivanja*

Kontrolna se ispitivanja provode kako bi se utvrdilo odgovara li kvaliteta oznaka propisanim zahtjevima. Ona obuhvaćaju:

- kontrolna ispitivanja prije izvođenja oznaka
- kontrolna ispitivanja za vrijeme izvođenja oznaka
- kontrolna ispitivanja gotovih oznaka.

Kontrolna ispitivanja prije izvođenja oznaka podrazumijevaju identifikaciju, tj. provjeru jednakosti uzoraka dostavljenoga materijala s podacima predočenima pri ispitivanju podobnosti sustava označavanja.

Kontrolna ispitivanja za vrijeme izvođenja obuhvaćaju:

- ispitivanje vremena sušenja
- ispitivanje debljine mokroga i suhoga sloja boje ili debljine sloja plastične mase (bez staklenih perla)
- vizualno ispitivanje raspodjele i stupnja utisnuća staklenih perla
- vizualno ispitivanje izvedenih oznaka kako bi se utvrdila moguća oštećenost, mreškanje, pukotine, ljuštenje, ljepljivost i nečistoće
- ispitivanje geometrije izvedenih oznaka u odnosu na projektiranu širinu i duljinu.

Kontrolna ispitivanja gotovih oznaka podrazumijevaju:

- ispitivanja dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake TIP II) i otpornosti na klizanje
- ispitivanje geometrije oznaka u smislu projektirane širine i duljine oznake, a na svakih 5 000 m izvedenih uzdužnih oznaka.

*d) Dodatna kontrolna ispitivanja*

Provode se u slučaju graničnih vrijednosti utvrđenih kontrolnim ispitivanjem gotovih oznaka.

*e) Arbitražno ispitivanje*

Arbitražno ispitivanje predstavlja ponavljanje kontrolnoga ispitivanja ukoliko postoji opravdana sumnja da isto nije provedeno na odgovarajući način. Provodi ga ovlaštena pravna osoba koja nije sudjelovala u spornim kontrolnim ispitivanjima ili ona za koju postoji suglasnost obje strana (naručitelja i izvoditelja). Rezultati arbitražnoga ispitivanja smatraju se mjerodavnima kontrolnim ispitivanjima, a troškove snosi ona strana čiji su rezultati

kontrolnoga ispitivanja suprotni, odnosno nisu u skladu s rezultatima utvrđenima arbitražnim ispitivanjem.

*f) Ispitivanje prije isteka jamstva*

Ispitivanja prije isteka jamstva provode se kako bi se utvrdila kvaliteta izvedenih oznaka na kolniku i njezina usklađenost s kvalitetom ugovorenom za vrijeme trajanja jamstvenoga roka (ukoliko je isti ugovoren). Ispitivanja se provode najkasnije četiri tjedna prije isteka jamstva, a obuhvaćaju:

- ispitivanja dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake TIP II) i otpornosti na klizanje
- ispitivanje otpornosti na klizanje svakih 10 000 m
- ispitivanje otpornosti na habanje.

Kako kvaliteta i kvantiteta vizualnoga vođenja sudionika u prometu, a time u određenoj mjeri i cjelokupna sigurnost cestovnoga prometa, ovisi o vidljivosti oznaka, ispitivanja vezana uz njihova retroreflektirajuća svojstva predstavljaju najvažnija ispitivanja njihove kvalitete, a svode se na ispitivanje dnevne i/ili noćne vidljivosti te se provode na dva načina [109]:

- metodom statičkoga ispitivanja refleksije oznaka na kolniku (dnevna i noćna vidljivost)
- metodom dinamičkoga ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku (noćna vidljivost).

### **5.1. Metoda statičkoga ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku**

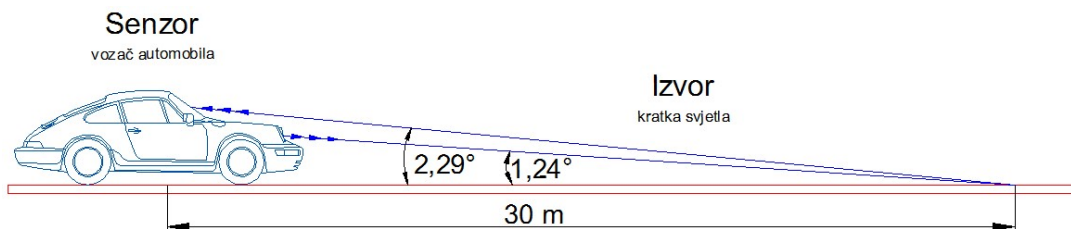
Statička metoda ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku podrazumijeva primjenu ručnih retroreflektometara (Slika 36.) koji se pozicioniraju na oznaku te mjere dnevnu i noćnu vidljivost oznaka. U RH statička se ispitivanja oznaka izvode u skladu s normom HRN EN 1436: Materijali za oznake na kolniku – značajke nužne za korisnike ceste [67].



Slika 36. Statički uređaj za mjerenje retrorefleksije oznaka na kolniku

Izvor: [110]

Dnevna je vidljivost izražena modulom  $Q_d$  i mjerena u  $\text{mcd/lx/m}^2$  promatrana pod kutom od  $2,29^\circ$  na udaljenosti od 30 m i predstavlja vrijednost difuznoga raspršenoga svjetla koju prima promatrač. Noćna je vidljivost ili retrorefleksija izražena koeficijentom  $R_L$  i mjerena u  $\text{mcd/lx/m}^2$ . Kod ispitivanja noćne vidljivosti uređaj mjeri retrorefleksiju svjetleće zrake reflektirane od ispitane površine pod kutom od  $2,29^\circ$ , kutom ulaznoga svjetla od  $1,24^\circ$  i pri udaljenosti 30 m kod kratkih svjetala [67]. Metodologija je mjerenja noćne vidljivosti oznaka na kolniku prikazana na Slici 37.



Slika 37. Prikaz metodologije mjerenja noćne vidljivosti oznaka na kolniku

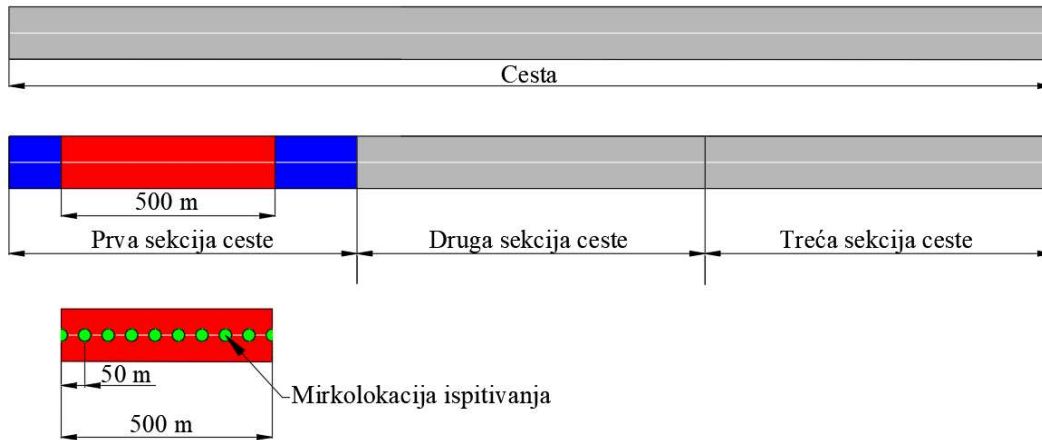
Izvor: [111]

Kako se statičkom metodom mjeri vidljivost oznaka samo na određenim lokacijama, postoje dvije metodologije koje propisuju broj i raspodjelu mjernih uzoraka.

a) *Kentucky metodologija*

Prema *Kentucky* metodologiji ispitivanja se vrše u periodu između 30-oga i 60-oga dana od datuma izvođenja oznaka. Ispitivanja se provode u ispitnom odsječku dužine 500 m na svakoj sekciji, pri čemu je sekcija dio oznaka izveden s jednom ekipom tijekom jednoga dana. Ispitni se odsječak uzima u prvoj trećini dužine sekcije te se unutar odsječka provodi deset ispitivanja na međusobnom razmaku od 50 m. Na svih deset mikrolokacija izvrše se po 3 mjerenja dnevne i noćne vidljivosti te se prosječna vrijednost tih ispitivanja uzima kao mjerodavna [4]. Prikaz je *Kentucky* metodologije ispitivanja vidljivosti oznaka na kolniku dan na Slici 38.

Nedostatak je ovoga načina ispitivanja činjenica da se ispitivanja provode samo u prvoj trećini izvedene dionice što otvara mogućnost pogrešne evaluacije kvalitete izvedene oznake, a time i narušavanja sigurnosti prometa.



Slika 38. Proces ispitivanja oznaka u skladu s *Kentucky* metodologijom

Izvor: [111]

a) *ZTV M13 metodologija*

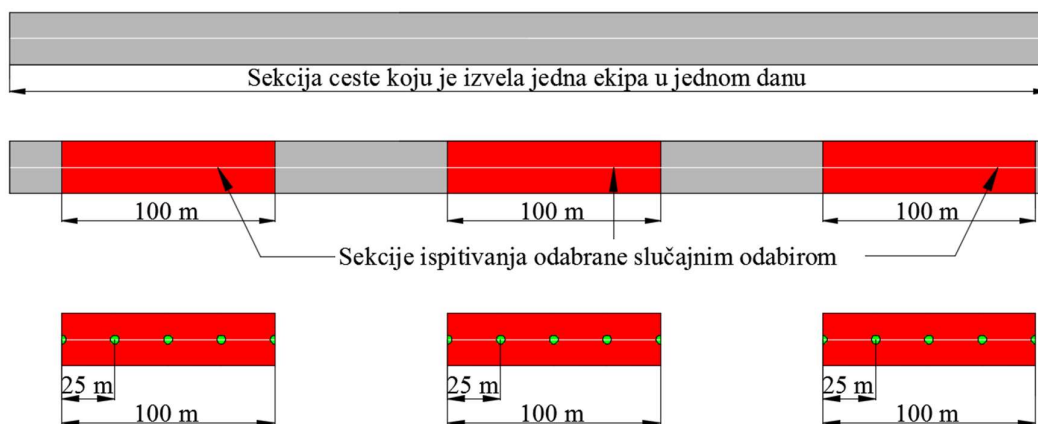
Prema njemačkom propisu ZTV M13 broj ispitnih odsječaka određuje se prema dnevnom učinku izvođača oznaka kao što je prikazano u Tablici 3.

Tablica 3. Broj mjernih odsječaka prema ZTV M13

Duljina uzdužne oznake (km)	Površina ostalih oznaka (m <sup>2</sup> )	Broj mjernih odsječaka
≤ 1	≤ 120	1
≤ 10	≤ 600	3
> 10 do 50	> 600 do 1.200	4
> 50 do 100	-	6
> 100	-	8

Izvor: [112]

Lokacije ispitnih odsječaka biraju se prema načelu slučajnosti na reprezentativnim mjestima na kojima vladaju približno jednaki uvjeti opterećenosti i karakteristike podloge unutar izvedene dionice. Mjerni odsječak za procjenu dnevne i noćne vidljivosti iznosi za neprekinute uzdužne oznake 50 m duljine, a za isprekidane uzdužne oznake 3 duljine linije. Unutar svakoga mjernoga odsječka bira se pet mjernih točaka. Kod punih uzdužnih oznaka mjerne se točke raspoređuju na 100 m duljine u jednakim razmacima (početak, 25 m, 50 m, 75 m i završetak). Kod isprekidanih uzdužnih oznaka mjerne se točke raspoređuju na sredini svake druge pune linije. Proces je ispitivanja oznaka prema ZTV M13 metodologiji prikazan na Slici 39.



Slika 39. Proces ispitivanja kvalitete oznaka u skladu sa ZTV M13 metodologijom

Izvor: [111]

Glavna je prednost ZTV M-a, u odnosu na *Kentucky* metodologiju, ta što osigurava ravnomjernu raspodjelu ispitivanja duž cijele dionice izvedene oznake čime se dobiva detaljniji uvid u kvalitetu oznake.

## 5.2. Dinamičko ispitivanje retrorefleksije oznaka na kolniku

Dinamička metoda ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku podrazumijeva ispitivanje isključivo noćne vidljivosti odnosno retrorefleksije dinamičkim mjernim uređajem u cijeloj njihovoj dužini. Mjerni se uređaj postavlja na mjesto vozilo s lijeve ili s desne strane, ovisno o tomu ispituje li se razdjelna ili rubna linija te tako omogućava stalno mjerenje noćne vidljivosti ( $R_L$ ) oznaka tijekom vožnje (Slika 40.).



Slika 40. Mjesto vozilo sa Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu s montiranim dinamičkim retroreflektometrom

Izvor: [111]

Princip je ispitivanja isti kao kod statičke metode što znači da uređaj mjeri retrorefleksiju svjetleće zrake od ispitane površine pod kutom od  $2,29^\circ$ , kutom ulaznoga svjetla od  $1,24^\circ$  i pri udaljenosti 30 m kod kratkih svjetala.

Sastavni su dijelovi dinamičkoga sustava mjerenja retrorefleksije mjerna glava, priključna kutija i prijenosno računalo. Za mjerni proces mjerna se glava postavlja na vanjsku stranu vozila i pričvršćuje na vozilo. Tijekom ispitivanja mjerna glava emitira zraku svjetlosti prema oznaci na kolniku od koje se zraka reflektira te vraća u senzor na mjernoj glavi koji ju pretvara u mjerljivi signal. Ti se signali potom obrađuju tako da se filtriraju, pojačavaju i digitaliziraju A/D pretvaračem. Mikroprocesor obrađene signale potom šalje u prijenosno računalo putem *Etherneta* [113]. Tijekom mjernoga procesa mjerna je glava priključena na priključnu kutiju instaliranu na vozilo koja pruža napajanje te služi kao središnje sučelje za sve kablove i priključke.

Mjerenje se vrši tako da se mjerno vozilo kreće po kolniku te očitava koeficijent retrorefleksije oznaka na kolniku uz koje se kreće svakih dviju milisekunda. Prije samoga provođenja ispitivanja potrebno je odabrati duljinu mjernoga intervala za koju će uređaj izračunavati prosječne vrijednosti retrorefleksije. Drugim riječima, ukoliko se postavi duljina mjernoga intervala od 100 m, to znači da će uređaj tijekom ispitivanja određene dionice na svakih 100 m bilježiti prosječnu vrijednost retrorefleksije.

Osim koeficijenta retrorefleksije uređaj dodatno bilježi i temperaturu, vlažnost, brzinu vožnje, GPS koordinate te slike i glasovne datoteke.

### **5.3. Usporedba metoda za ispitivanje vidljivosti oznaka na kolniku**

Razlike između statičke i dinamičke metode ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku očituju se u samom načinu provođenja ispitivanja te u količini prikupljenih podataka. Statičke metode omogućavaju mjerenje dnevne i noćne vidljivosti ručnim uređajima što podrazumijeva fizičku prisutnost ispitivača na cesti tijekom mjerenja. Stoga pri mjerenju dolazi do ometanja prometa te smanjenja sigurnosti kako za ispitivača tako i za ostale sudionike u prometu. Također, malo mjerno područje statičkih retroreflektometara zahtijeva veći broj mjernih odsječaka kako bi se dobili sustavni rezultati duž cijele dionice ceste. Osim navedenoga, rezultati statičkih metoda uvelike mogu ovisiti o samom mjeritelju. Naime, kako je mjerno područje ručnih retroreflektometara relativno malo (oko 52 mm x 218 mm ovisno o proizvođaču), male promjene u njihovu pozicioniranju na oznaci mogu značajno utjecati na

rezultate što znači da nesavjestan mjeritelj može „tražiti” željene rezultate pomicanjem uređaja po oznaci.

S druge strane, dinamička metoda podrazumijeva mjerenje isključivo noćne vidljivosti oznaka primjenom dinamičke mjerne glave koja mjeri retrorefleksiju oznaka tijekom vožnje. Glavni su nedostaci ove metode vezani uz visoke inicijalne troškove dinamičkoga retroreflektometra i dodatne opreme (računala, programskih alata itd.) te uz troškove održavanja i edukacije mjeritelja. Međutim, u usporedbi s ručnim retroreflektometrima prednosti se dinamičkih uređaja očituju u mogućnosti bržega ispitivanja dužih dionica, a time i bržega prikupljanja velike količine podataka što je važno za objektivno ocjenjivanje kvalitete oznake. Također, dinamički retroreflektometri imaju veće mjerno područje (oko 77 puta veće, ovisno o pojedinim karakteristikama statičkoga retroreflektometra) te tako pri mjerenju obuhvaćaju cijelu oznaku za razliku od ručnih koji obuhvaćaju samo manji dio oznake. Dodatno, kako se dinamički retroreflektometri montiraju na vozilo, ometanje je odvijanja prometa zanemarivo te je sigurnost mjeritelja veća [4].

S obzirom na prednosti dinamičke metode i njezinu objektivnost te cjelovitost pri evaluaciji kvalitete oznaka, ona predstavlja suvremenu metodu ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku.

Glavne su prednosti i nedostaci metoda za ispitivanje retrorefleksije oznaka na kolniku prikazane u Tablici 4.

Tablica 4. Prednosti i nedostaci metoda za ispitivanje retrorefleksije oznaka na kolniku

METODA	PREDNOSTI	NEDOSTATCI
<b>KENTUCKY</b>	- mjerenje dnevne i noćne vidljivosti oznaka - relativno brzo obavljanje mjerenja	- ispituje se samo prva trećina izvedene dionice što može uzrokovati pogrešnu evaluaciju kvalitete oznake na cijeloj dionici - mogućnost mjeriteljeva utjecaja na rezultate
<b>ZTV M13</b>	- mjerenje dnevne i noćne vidljivosti oznaka - sadrži više ispitnih odsječaka duž cijele dionice što omogućuje objektivniju evaluaciju kvalitete oznake u odnosu na Kentucky metodologiju	- mjerni se odsječci odabiru na temelju slučajnoga odabira - mogućnost mjeriteljeva utjecaja na rezultate
<b>DINAMIČKA</b>	- mjerenje noćne vidljivosti duž cijele dionice ceste - neometanje odvijanja prometa tijekom ispitivanja - veća sigurnost mjeritelja tijekom ispitivanja	- ne mjeri se dnevna vidljivost - visoki troškovi nabave i održavanja mjerne opreme

Izvor: [114]

#### 5.4. Minimalne propisane vrijednosti retrorefleksije u RH

Na temelju dosadašnjih znanstvenih istraživanja zaključeno je kako minimalna subjektivna razina retrorefleksije koja je potrebna vozačima za sigurnu percepciju geometrije ceste u uvjetima smanjene vidljivosti iznosi između 100 i 150 mcd/lx/m<sup>2</sup> u suhim uvjetima.

Smjernicama i tehničkim uvjetima za izvođenje radova na obnavljanju oznaka na kolniku [108] koje su propisale *Hrvatske ceste d.o.o.* definirane su minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti za obnovljene oznake u suhim uvjetima (TIP I) te noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (TIP II) na državnim cestama u RH (Tablica 5. i Tablica 6.).

Tablica 5. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti obnovljenih oznaka na cestama s PGDP < 10.000 vozila (oznake TIP I)

<b>VIDLJIVOST I STANJE KOLNIKA</b>	<b>MINIMALNA VRIJEDNOST (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VRIJEDNOSNI INTERVAL (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Noćna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>R<sub>L</sub> ≥ 200</b>	<b>180 ≤ R<sub>L</sub> ≤ 220</b>
<i>Dnevna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>Q<sub>d</sub> ≥ 130</b>	<b>110 ≤ Q<sub>d</sub> ≤ 150</b>

*Izvor:* [108]

Tablica 6. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti obnovljenih oznaka na cestama s PGDP > 10.000 vozila (oznake TIP II)

<b>VIDLJIVOST I STANJE KOLNIKA</b>	<b>MINIMALNA VRIJEDNOST (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VRIJEDNOSNI INTERVAL (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Noćna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>R<sub>L</sub> ≥ 300</b>	<b>270 ≤ R<sub>L</sub> ≤ 330</b>
<i>Noćna vidljivost, vlažan kolnik</i>	<b>R<sub>L</sub> ≥ 35</b>	<b>30 ≤ R<sub>L</sub> ≤ 40</b>
<i>Dnevna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>Q<sub>d</sub> ≥ 160</b>	<b>140 ≤ Q<sub>d</sub> ≤ 180</b>

*Izvor:* [108]

Osim minimalnih vrijednosti koje obnovljene oznake na kolniku moraju zadovoljiti, smjernicama i tehničkim uvjetima definirane su i minimalne vrijednosti vidljivosti oznaka u postojećem stanju. Drugim riječima, ukoliko dnevna i/ili noćna vidljivost oznake padne ispod vrijednosti propisanih u Tablicama 7. i 8., tada se oznaka mora ponovno obnoviti.

Tablica 7. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti postojećih oznaka na cestama s PGDP < 10.000 vozila (oznake TIP I)

<b>VIDLJIVOST I STANJE KOLNIKA</b>	<b>MINIMALNA VRIJEDNOST (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VRIJEDNOSNI INTERVAL (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Noćna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>R<sub>L</sub> ≥ 100</b>	<b>90 ≤ R<sub>L</sub> ≤ 110</b>
<i>Dnevna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b>Q<sub>d</sub> ≥ 100</b>	<b>90 ≤ Q<sub>d</sub> ≤ 110</b>

*Izvor:* [108]



Tablica 8. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti postojećih oznaka na cestama s PGDP > 10.000 vozila i oznake TIP II

<b>VIDLJIVOST I STANJE KOLNIKA</b>	<b>MINIMALNA VRIJEDNOST (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VRIJEDNOSNI INTERVAL (mcd/lx/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Noćna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b><math>R_L \geq 150</math></b>	<b><math>130 \leq R_L \leq 170</math></b>
<i>Noćna vidljivost, vlažan kolnik</i>	<b><math>R_L \geq 35</math></b>	<b><math>30 \leq R_L \leq 40</math></b>
<i>Dnevna vidljivost, suhi kolnik</i>	<b><math>Q_d \geq 130</math></b>	<b><math>110 \leq Q_d \leq 150</math></b>

Izvor: [108]

Ukoliko su vrijednosti dnevne i/ili noćne vidljivosti oznaka na kolniku tijekom ispitivanja iznad ili ispod vrijednosnih intervala koji su navedeni u Tablicama 5., 6., 7. i 8. (ovisno o stanju oznake), oznaka je zadovoljila, odnosno nije i mjerenje je na tom odsječku završeno. Ukoliko je izmjerena vrijednost unutar vrijednosnih intervala navedenih u tablicama, nastavlja se drugi stupanj ocjene.

U drugom stupnju ocjene za svaki mjerni odsječak koji je nužno provjeriti bira se daljnjih 15 mjernih točaka za ocjenu dnevne i noćne vidljivosti. Iz izmjerenih vrijednosti svih mjernih točaka u prvom i drugom stupnju ocjene izračunava se aritmetička sredina. Ukoliko je ista jednaka ili veća od najmanjega zahtjeva navedenoga u Tablicama 5., 6., 7. i 8. (ovisno o stanju oznake), oznaka se prihvaća. Ukoliko je aritmetička sredina manja od minimalne vrijednosti navedene u tablicama, oznaka se ne prihvaća i izvođač ju mora iznova izvesti o svom trošku [108].

## 6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA KVALITETE OZNAKA NA KOLNIKU

Sustavna stalna ispitivanja kvalitete oznaka na kolniku primjenom dinamičke metode ispitivanja retrorefleksije oznaka od 2010. godine provodi *Zavod za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti*, Sveučilišta u Zagrebu na mreži državnih cesta u suradnji s *Hrvatskim cestama d.o.o.* U sljedećim će poglavljima biti prikazano stanje kvalitete oznaka na kolniku u RH te rezultati provedenih ispitivanja koji su korišteni za izradu modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku.

### 6.1. Ispitivanje kvalitete oznaka na kolniku u RH

Kao što je u prethodnom poglavlju navedeno, dinamička ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku na mreži državnih cesta Republike Hrvatske provode se od 2010. godine pa do danas (2017. godine). Sustavna i stalna ispitivanja u suradnji s *Hrvatskim cestama d.o.o.* te u skladu sa Smjernicama i tehničkim uvjetima [108] provodi *Zavod za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti*, Sveučilišta u Zagrebu. Za provođenje ispitivanja koristi se dinamički reflektometar *Zehntner ZDR 6020* (Slika 40.) čije mjerno područje obuhvaća širinu od 50 cm i dužinu od 100 cm te time omogućuje mjerenje retrorefleksije oznaka duž njihove cijele dužine i površine.

Ispitivanja su od njihovih početaka pa sve do danas podijeljena u tri dijela (ugovora). U sklopu prvoga dijela, koji je trajao od 2010. do 2013. godine, ispitano je ukupno 17 918 373 metra uzdužnih oznaka na kolniku. Od ukupne ispitane količine 8 372 044 metra odnosno 46,72 % ubraja se u obnovljene oznake, dok su 9 546 329 metara (53,28 %) postojeće oznake. Od ukupne je količine ispitanih obnovljenih oznaka 3 349 319 metara rubnih, a 5 022 725 metara razdjelnih oznaka. Od ukupno ispitanih postojećih oznaka 5 343 202 metra rubne su, dok su 4 203 127 metara razdjelne oznake (Tablica 9.) [115].

Tablica 9. Ispitane količine u prvom dijelu (do srpnja 2013.)

Linija	Ukupno (m)	Obnovljena (m)	Postojeća (m)
Rubna	8 692 521	3 349 319	5 343 202
Razdjelna	9 225 852	5 022 725	4 203 127
<b>Ukupno</b>	<b>17 918 373</b>	<b>8 372 044</b>	<b>9 546 329</b>

Izvor: [115]

Kako je dinamičko ispitivanje retrorefleksije uzdužnih oznaka na kolniku na državnim cestama RH izvršeno četiri godine zaredom, omogućena je usporedba prikupljenih podataka u razdoblju od 2010. do 2013. godine. Usporedba prosječnih vrijednosti retrorefleksije ukazuje na povećanje retrorefleksije oznaka od 1 do 15 % za usporedno razdoblje od četiriju godina [115].

Drugi je dio provođenja istraživanja trajao od srpnja 2013. do listopada 2014. godine te je ukupno ispitano 13 592 181 metar uzdužnih oznaka na kolniku od kojih je 9 354 731 obnovljenih te 4 237 450 metara postojećih oznaka. Od ukupno 9 354 731 metra obnovljenih oznaka 3 622 750 metara (38,72 %) rubne su, a 5 731 981 metar (61,27 %) razdjelne oznake. Od ukupne količine postojećih oznaka 1 228 000 metara (28,97 %) rubne su, dok su 3 009 450 metara (71,03 %) razdjelne linije kao što je prikazano u Tablici 10. [115].

Tablica 10. Ispitane količine u drugom dijelu (do listopada 2014.)

<b>Linija</b>	<b>Ukupno (m)</b>	<b>Obnovljena (m)</b>	<b>Postojeća (m)</b>
Rubna	4 850 750	3 622 750	1 228 000
Razdjelna	8 741 431	5 731 981	3 009 450
<b>Ukupno</b>	<b>13 592 181</b>	<b>9 354 731</b>	<b>4 237 450</b>

Izvor: [115]

Tijekom trećega je dijela (Tablica 11.), koji je započeo u srpnju 2015. godine, a završio u studenom 2016. godine, ispitano ukupno 23 108 240 metara uzdužnih oznaka od kojih je 16 922 290 metara obnovljenih (7 552 400 m rubnih i 9 369 890 m razdjelnih) te 6 185 950 metara postojećih oznaka (4 656 250 m rubnih i 1 529 700 m razdjelnih) [115].

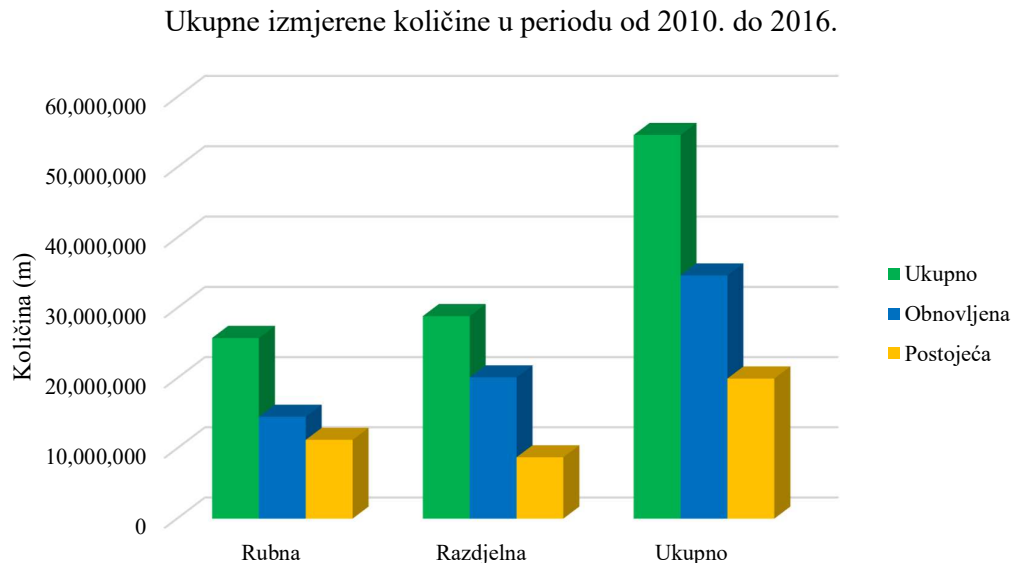
Tablica 11. Ispitane količine u trećem dijelu (do prosinca 2016.)

<b>Linija</b>	<b>Ukupno (m)</b>	<b>Obnovljena (m)</b>	<b>Postojeća (m)</b>
Rubna	12 208 650	7 552 400	4 656 250
Razdjelna	10 899 590	9 369 890	1 529 700
<b>Ukupno:</b>	<b>23 108 240</b>	<b>16 922 290</b>	<b>6 185 950</b>

Izvor: [115]

Iz svega se navedenoga može zaključiti da je od 2010. do 2016. godine na mreži državnih cesta RH ispitano ukupno 54 618 794 metra uzdužnih oznaka na kolniku (Slika 41.). U skladu s analizom rezultata ispitivanja koju je proveo *Zavod za prometnu signalizaciju* zaključeno je sljedeće [115]:

1. Vrijednosti su retrorefleksije postojane i u okviru propisanih standarda.
2. Zabilježeno je povećanje vrijednosti retrorefleksije od 1 do 15 % u periodu od 2010. do 2013. godine.
3. U periodu od 2013. do 2015. godine vrijednosti su retrorefleksije uzdužnih oznaka na kolniku ostale na prethodnim razinama, uz prisutnost rijetkih oscilacija.
4. U periodu od 2015. do 2016. bilježi se blagi porast vrijednosti retrorefleksije uz prisutnost rijetkih oscilacija u pojedinim županijama.



Slika 41. Ukupne izmjerene količine u periodu od 2010. do 2016. godine

Izvor: [115]

## 6.2. Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala

U svrhu izrade modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene bojama na bazi otapala, kao najčešćega materijala za izvođenje oznaka u RH, analizirano je ukupno 5 218 km oznaka na kolniku na 115 državnih cesta duž RH. Od ukupno 115 analiziranih oznaka 63 razdjelne su linije ukupne dužine 2 845,9 km, dok su ostale 52 rubne oznake ukupne duljine 2 372,1 km. Retrorefleksija je oznaka, kao glavni pokazatelj njihove trajnosti, na svakoj analiziranoj cesti mjerena primjenom dinamičke metode dva puta: prvi put između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja odnosno obnavljanja oznake te drugi put nakon zime, odnosno kada

je oznaka u skladu sa Smjernicama i tehničkim uvjetima *Hrvatskih cesta d.o.o.* [108] bila postojeća. Navedena su mjerena izvršena u periodu od 2011. do 2015. godine. Prosječna retrorefleksija obnovljenih oznaka iznosi 261,71 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz standardnu devijaciju od 41,54 mcd/lx/m<sup>2</sup>. Maksimalna vrijednost obnovljenih oznaka iznosi 391 mcd/lx/m<sup>2</sup>, dok minimalna iznosi 153 mcd/lx/m<sup>2</sup>. S druge strane, prosječna retrorefleksija postojećih oznaka iznosi 151,30 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz standardnu devijaciju od 48,85 mcd/lx/m<sup>2</sup> te maksimalnu vrijednost od 275 mcd/lx/m<sup>2</sup> i minimalnu od 41 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao što je prikazano u Tablici 12.

Tablica 12. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku na analiziranim cestama

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – obnovljena	115	153	391	261,71	41,542
Retrorefleksija – postojeća	115	41	275	151,30	48,851

Uz retrorefleksiju prikupljeni su i ostali podatci koji prema postojećoj literaturi koja je analizirana u Poglavlju 1.3.4. imaju utjecaj na degradaciju retrorefleksije oznaka odnosno na njihovo trajanje. Ti su podatci vezani uz starost oznake, PGDP osobnih i teretnih vozila, položaj oznake na cesti, aktivnosti zimske službe (broj prolaska ralice tijekom zimskoga perioda) te uz prosječno ograničenje brzine na cesti. Navedeni su podatci kao i vrijednosti retrorefleksije za svih 115 oznaka prikazani u Prilogu 1.

Nakon prikupljanja podataka provedena je verifikacija postojećih modela koji su dostupni u znanstvenoj literaturi na prikupljenim podacima, što je detaljno pojašnjeno u sljedećem poglavlju.

### **6.2.1. Verifikacija postojećih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala**

U svrhu provjere točnosti postojećih modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene bojom na bazi otapala provedena je verifikacija četiriju modela na temelju prikupljenih podataka. Modeli su korišteni za verifikaciju sljedeći:

- 1. Model** autora u studiji [42] predstavlja generalni model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku neovisno o materijalu od kojega su izvedene, definiran je izrazom (5):

$$Y = -0,6101 X + 313,61 \quad (5)$$

gdje je:

- $Y$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $X$  – starost oznake u danima

2. **Model** autora u studiji [50] definiran je izrazom (14):

$$R_L = 55,2 + 0,77 * R_{Linitial} - 4,17 * time \quad (14)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linitial}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $time$  – starost oznake (dani)

3. **Model** autora u studiji [51] definiran je izrazom (17):

$$R_L = 129 + 0,534 * R_{Linitial} - 0,163 * time \quad (17)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linitial}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $time$  – starost oznake (dani)

4. **Model** autora u studiji [52] definiran je izrazom (18):

$$R_L = 65,5 + 0,72 * R_{Linitial} - 2,55 * t - 3,22 * s - 0,0005 * AADT \quad (18)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linitial}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $t$  – starost oznake (dani)
- $s$  – broj aktivnosti zimske službe
- $AADT$  – prosječni godišnji dnevni promet.

Na temelju navedenih izraza izračunane su, za svaki model zasebno, predviđene vrijednosti retrorefleksije oznaka tako da su u izraze uvrštene vrijednosti varijabla koje su prikupljene u ovom istraživanju.

Zatim je izračunana korelacija između predviđenih vrijednosti retrorefleksije oznaka svakoga od četiriju odabranih modela i stvarne vrijednosti retrorefleksije koja je izmjerena za potrebe ovoga istraživanja. Iz rezultata je korelacijske analize (Tablica 13.) vidljivo kako su se sva četiri korištena modela pokazala kao značajni prediktori retrorefleksije, odnosno kako postižu statistički značajne korelacije sa stvarnim izmjerenim vrijednostima retrorefleksije oznaka. Međutim, iako su utvrđene značajne korelacije sa stvarnim izmjerenim vrijednostima retrorefleksije (koeficijent se korelacije kreće između 0,25 i 0,47), koeficijenti se determinacije ( $R^2$ ) kreću između 0,06 i 0,22, što zapravo predstavlja slabu točnost modela.

Tablica 13. Rezultati korelacijske analize predviđenih i stvarnih vrijednosti retrorefleksije oznaka na bazi otapala

		Retrorefleksija – izmjerena	Model 1.	Model 2.	Model 3.	Model 4.
Retrorefleksija – izmjerena	Pearsonova korelacija	1	<b>0,254**</b>	<b>0,305**</b>	<b>0,468**</b>	<b>0,439**</b>
	p (2-tailed)	-	0,006	0,001	0,000	0,000
Model 1.	Pearsonova korelacija	0,254**	1	0,941**	0,358**	0,902**
	p (2-tailed)	0,006	-	0,000	0,000	0,000
Model 2.	Pearsonova korelacija	0,305**	0,941**	1	0,473**	0,964**
	p (2-tailed)	0,001	0,000	-	0,000	0,000
Model 3.	Pearsonova korelacija	0,468**	0,358**	0,473**	1	0,466**
	p (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	-	0,000
Model 4.	Pearsonova korelacija	0,439**	0,902**	0,964**	0,466**	1
	p (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	-

\*\*Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,01 (2-tailed)

N 115

p – razina statističke značajnosti

Pri analizi je postojećih modela uočeno kako su vrijednosti nekih koeficijenata, a posebno konstanta neodgovarajući veličinama dobivenih podataka. Tako dva od četiriju modela (modeli 2. i 4.) kao predviđene vrijednosti retrorefleksije postojećih oznaka daju negativne vrijednosti, što je očito nemoguće. Navedeno je vidljivo ukoliko se usporede prosječne vrijednosti stvarne izmjerene retrorefleksije i predviđenih vrijednosti koje su dobivene iz navedenih modela (Tablica 14.).

Tablica 14. Deskriptivna analiza rezultata postojećih modela za predviđanje trajanja oznaka izvedenih bojom na bazi otapala

	Ar. sredina	SD	N
Retrorefleksija – izmjerena	151,30	48,851	115
Model 1.	181,63	21,263	115
Model 2.	-753,91	221,272	115
Model 3.	229,25	23,588	115
Model 4.	-420,94	148,868	115

### 6.2.2. *Deskriptivna analiza varijabla korištenih za izradu modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala*

Zavisna je varijabla u ovom istraživanju *retrorefleksija postojećih oznaka* odnosno retrorefleksija oznaka nakon nekoga vremena s obzirom na to da je njihovo trajanje izravno povezano s razinom retrorefleksije.

S druge strane, prediktori su zavisne varijable korišteni za predviđanje trajanja oznaka izvedenih bojom na bazi otapala sljedeći:

- inicijalna retrorefleksija ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- starost oznake (dani)
- položaj oznake na cesti (0 = rubna linija; 1 = razdjelna)
- prosječni godišnji dnevni promet vozila rasčlanjen na osobna i na teretna vozila
- aktivnost zimske službe (broj prolazaka ralice)
- prosječno ograničenje brzine na cesti (km/h).

*Inicijalna retrorefleksija* predstavlja retrorefleksiju oznake nakon izvođenja, a mjerena je dinamičkom metodom između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja u skladu sa Smjernicama i tehničkim uvjetima *Hrvatskih cesta d.o.o.* [108]. *Starost oznake* predstavlja broj dana proteklih od prvoga mjerenja (mjerenja inicijalne retrorefleksije) do drugoga mjerenja kada je oznaka bila postojeća. *Položaj oznake na cesti* predstavlja nominalnu veličinu kojoj je definirana pozicija oznake tako da je vrijednost navedene varijable 0 ukoliko je oznaka rubna, a 1 ukoliko je razdjelna. *Prosječni godišnji dnevni promet* predstavlja prosječnu dnevnu količinu prometa u odnosu na ukupno ostvareni promet tijekom cijele godine te je kao takav najčešće korišten pokazatelj veličine prometa u RH. Dosadašnja istraživanja pokazuju mješovite rezultate vezane uz utjecaj prometa na degradaciju retrorefleksije oznaka. Istraživanja kao što su studije [46] i [50] nisu zabilježila statistički značajan utjecaj prometa na degradaciju retrorefleksije, a time i na trajanje oznaka, dok druga kao što su studije [44] i [52] bilježe mali, ali statistički značajan utjecaj. Za potrebe je provođenja ovoga istraživanja PGDP rasčlanjen na osobna i na teretna vozila kako bi se detaljnije analizirao utjecaj PGDP-a na trajanje oznaka, a podatci su za pojedinu godinu dobiveni iz *Biltena brojenja prometa* koji izdaju *Hrvatske ceste d.o.o.* [116] [117] [118] [119]. *Aktivnost zimske službe* predstavlja broj prolazaka ralica po cesti u periodu između dvaju mjerenja retrorefleksije. Podatci su o aktivnostima zimske službe dobiveni od tvrtke *Viatel d.o.o.* te *Tehničkih ispostava Hrvatskih cesta d.o.o.* u pojedinim županijama [120]



[121]. *Prosječno ograničenje brzine na cesti* predstavlja prosječnu maksimalnu brzinu dopuštenu na određenoj cesti, a dobiveno je iz baze podataka prometnih znakova *Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu* [115].

Rezultati su deskriptivne statistike varijabla prikazani u Tablici 15. Kako je varijabla *položaj oznake na cesti* jedina dihotomna (nominalna) varijabla, izdvojena je i prikazana u Tablici 16.

Tablica 15. Deskriptivna statistika korištenih varijabla

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – postojeća (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	115	41	275	151,30	48,85
Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	115	153	391	261,71	41,542
Starost oznake (dani)	115	168	345	243,97	50,79
PGDP – osobna vozila	115	615,00	17879,90	4201,62	2897,81
PGDP – teretna vozila	115	33,00	850,50	332,14	199,96
Aktivnost zimske službe (broj prolazaka ralice)	115	0	46	16,96	12,88
Prosječno ograničenje brzine (km/h)	115	38,33	67,50	56,75	5,74

Tablica 16. Deskriptivna statistika varijable *položaj oznake na cesti*

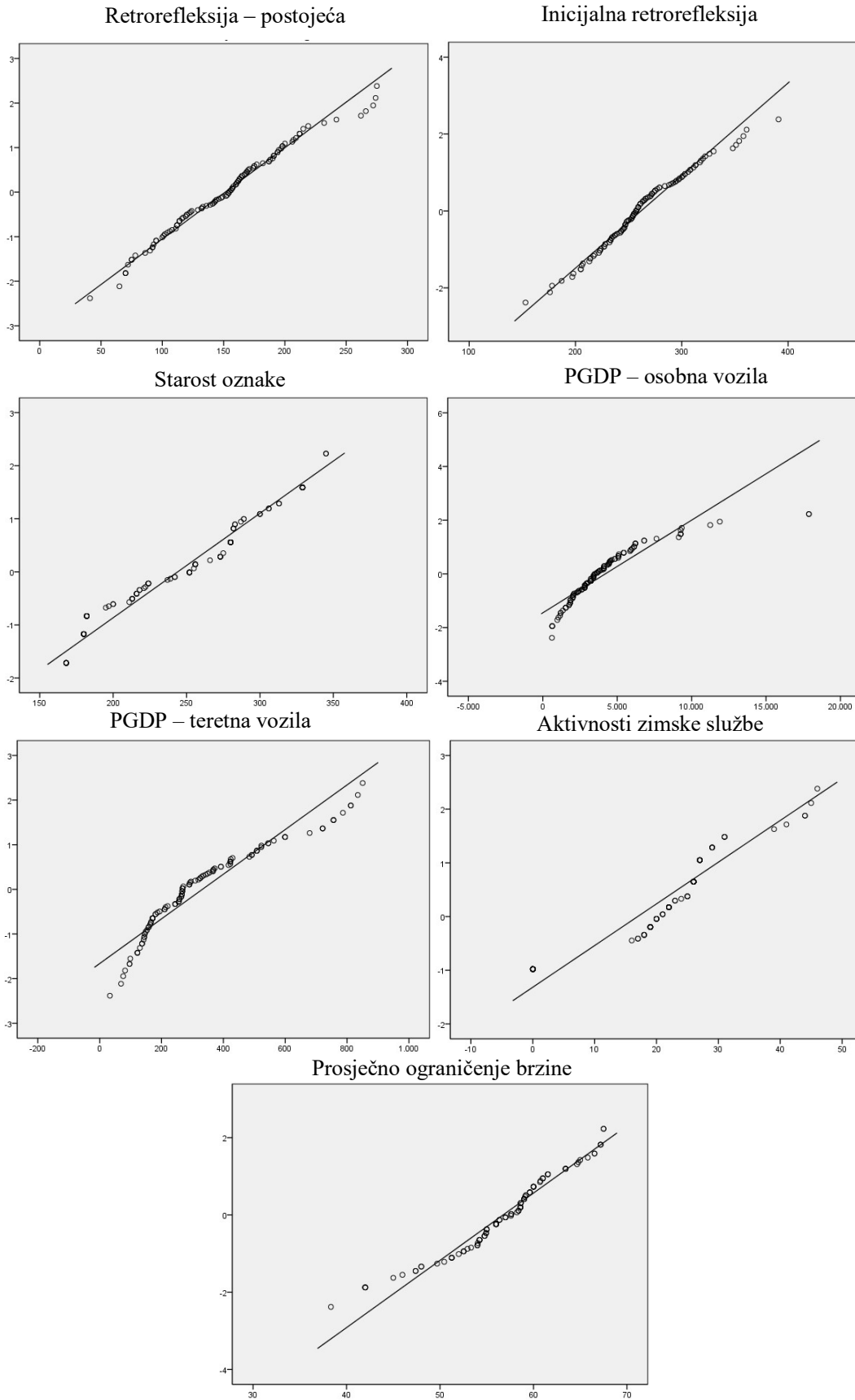
	N	Postotak
Rubna	52	45,2 %
Razdjelna	63	54,8 %
Ukupno	115	100,0 %

Preduvjet je razvoja modela, odnosno provođenja regresijske analize normalnost distribucije podataka zbog čega je proveden *Shapiro-Wilkov* test normalnosti na univarijatnoj razini za svaku varijablu zasebno, uz iznimku *položaja oznake na cesti*, a s obzirom na to da ona, kao dihotomna, ne može biti normalno distribuirana. Rezultati su *Shapiro-Wilkovoga* testa prikazani u Tablici 17.

Tablica 17. Rezultati *Shapiro-Wilkovoga* testa normalne distribucije

	W	Stupnjevi slobode	p
<b>Retrorefleksija – postojeća</b>	0,982	115	<b>0,123</b>
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	0,980	115	<b>0,089</b>
Starost oznake	0,936	115	0,000
PGDP – osobna vozila	0,807	115	0,000
PGDP – teretna vozila	0,904	115	0,000
Aktivnost zimske službe	0,849	115	0,000
Prosječno ograničenje brzine	0,952	115	0,000

Iz Tablice 17. može se zaključiti da varijable *retrorefleksija – postojeća* te *inicijalna retrorefleksija* prolaze *Shapiro-Wilkov* test normaliteta distribucije s obzirom na to da im je značajnost ( $p$ ) veća od 0,05 te da su prema tomu navedene varijable normalno distribuirane. Značajnost je ostalih varijabla, kao što je vidljivo iz tablice, manja od 0,05, što znači da iste nisu normalno distribuirane. S obzirom na to da je kod velikih uzoraka podataka, kao u ovom slučaju, pad varijabla na *Shapiro-Wilkovom* testu učestala, za određivanje normalnosti podataka vrlo se često koriste i tzv. Q-Q grafikoni (kvantil-kvantil grafikoni). Navedeni grafikoni prikazuju raspršenje stvarnih izmjerenih vrijednosti (prikazane kao točke na prikazu) od vrijednosti predviđenih na temelju pretpostavljene normalne distribucije (prikazane kao pravac na grafikonu). Iz Q-Q grafikona prikazanih na Slici 42. zaključeno je kako je raspršenost varijabla, odnosno njihovo odstupanje od normalne distribucije zanemarivo te kako se može smatrati da su sve korištene varijable normalno distribuirane čime je zadovoljen preduvjet za provođenje linearne regresije. Osim s pomoću Q-Q grafikona, na temelju centralnoga graničnoga teorema, koji kaže da će varijabla biti normalno distribuirana uz dovoljno velik broj uzoraka (minimalno 30) [122], također se može zaključiti da su navedene varijable normalno distribuirane.



Slika 42. Q-Q grafikoni

### 6.3. Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih termoplastikom

Za potrebe izrade modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih termoplastikom analizirano je ukupno 579 km oznaka na kolniku na pet državnih cesta u RH te 13 državnih i lokalnih cesta na području Savezne Republike Njemačke u periodu od 2012. do 2015. godine. S obzirom na ograničenost primjene termoplastike u RH dodatni su podatci nužni za stvaranje minimalnoga statističkoga uzorka koji je potreban za regresijsku analizu te su dobiveni od tvrtke *M. Swarovski GmbH* [81].

Od ukupno 30 oznaka na 18 analiziranih cesta njih su 16 razdjelne linije ukupne duljine 293 km, dok je ostalih 14 oznaka rubnih ukupne duljine 286 km. Kao i kod boja na bazi otapala sve su oznake mjerene dva puta: prvi put između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja oznake te drugi put nakon zime kada je oznaka bila postojeća. Prosječna retrorefleksija obnovljenih oznaka iznosi 346,13 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz standardnu devijaciju od 23,688 mcd/lx/m<sup>2</sup>, dok prosječna retrorefleksija postojećih oznaka iznosi 201 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz standardnu devijaciju od 22,095 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao što je prikazano u Tablici 18.

Tablica 18. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku na analiziranim cestama

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – obnovljena	30	300	384	346,13	23,688
Retrorefleksija – postojeća	30	201	298	242,53	22,095

Kao i kod boje na bazi otapala u svrhu provođenja regresijske analize prikupljeni su i podatci vezani uz starost oznake, PGDP, položaj oznake na cesti te uz aktivnosti zimske službe (broj prolaska ralice tijekom zimskog perioda). Prosječno ograničenje brzine u ovoj analizi nije uzeto u obzir jer navedena varijabla nije bila statistički značajno povezana s degradacijom retrorefleksije kod boja na bazi otapala. Naime, kako je debljina plastičnih materijala između 1 i 3 mm za neprofilirane oznake te maksimalno do 6 mm za profilirane oznake, kao što je navedeno u Poglavlju 4.2., očekivano je da prosječno ograničenje brzine ni kod termoplastičnoga materijala neće imati značajnoga utjecaja upravo zbog navedene debljine nanosa materijala te njegove veće čvrstoće u odnosu na boje. Također, PDGP se kao prediktor nije pokazao statistički značajan kod boja na bazi otapala, no u ovom je slučaju uzet u obzir jer je jedan dio dosadašnjih istraživanja, kao što su studije [44] i [50], pokazao njegov mali, ali statistički značajan utjecaj na trajanje termoplastičnih oznaka. Dodatno, zbog debljine nanosa i

čvrstoće samoga materijala za potrebe je izrade modela predviđanja trajanja termoplastičnih oznaka analiziran ukupni PGDP na cestama bez njegovoga raščlanjenja na osobna i na teretna. Navedeni su podatci kao i vrijednosti retrorefleksije za svih 30 oznaka prikazani u Prilogu 2.

### 6.3.1. Verifikacija postojećih modela predviđanja trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku

U svrhu je provjere točnosti postojećih modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku provedena verifikacija triju modela na temelju prikupljenih podataka:

1. **Model** autora u studiji [42] predstavlja generalni model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku neovisno o materijalu od kojega su izvedene, definiran je izrazom (5):

$$Y = -0,6101 X + 313,61 \quad (5)$$

gdje je:

- $Y$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $X$  – starost oznake u danima

2. **Model** autora u studiji [44], definiran je formulom:

$$R_L = -70,806 \ln (VE) + 639,66 \quad (9)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $VE$  – izloženost oznake vozilima izračunana prema:  $VE = PGDP \times \text{starost oznake} \times 0,0304$

3. **Model** autora u studiji [48], definiran je formulom:

$$R_L = 190 + 0,39 * R_{Linitial} - 2,09 * time - 0,0011 * AADT + 20,7 * X_1 - 20,7 * X_2 + 19 * X_3 - 19 * X_4 \quad (15)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linitial}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $time$  – starost oznake (dani)
- $AADT$  – prosječni godišnji dnevni promet
- $X_1$  – 1 ukoliko je oznaka rubna, 0 ako nije
- $X_2$  – 1 ukoliko je oznaka središnja, 0 ako nije
- $X_3$  – 1 ukoliko je oznaka bijele boje, 0 ako nije
- $X_4$  – 1 ukoliko je oznaka žute boje, 0 ako nije.

Na temelju formula iz izraza (5), (9) i (15) izračunane su za svaki model predviđene vrijednosti retrorefleksije tako da su u izraze uvrštene vrijednosti varijabla koje su prikupljene za potrebe ovoga istraživanja.

Nakon izračuna retrorefleksije izračunana je korelacija između predviđenih vrijednosti retrorefleksije oznaka dobivenih prema izrazima (5), (9) i (15) te stvarne vrijednosti retrorefleksije izmjerene za potrebe ovoga istraživanja. Rezultati su navedene korelacije prikazani u Tablici 19. iz koje je vidljivo kako su se sva tri modela pokazala kao značajni prediktori retrorefleksije, s korelacijama od 0,53, 0,5 te 0,57, odnosno koeficijentima determinacije ( $R^2$ ) od 0,28, 0,25 i 0,32, što je u slučaju Modela 1. više od vrijednosti koju navode autori, dok je kod Modela 2. i 3. dobivena vrijednost značajno niža od onih koje navode autori (0,58 i 0,60).

Tablica 19. Rezultati korelacijske analize predviđenih i stvarnih vrijednosti retrorefleksije termoplastičnih oznaka

		Retrorefleksija – izmjerena	Model 1.	Model 2.	Model 3.
Retrorefleksija – izmjerena	Pearsonova korelacija	1	<b>0,531**</b>	<b>0,503**</b>	<b>0,565**</b>
	p (2-tailed)	-	0,003	0,005	0,001
Model 1.	Pearsonova korelacija	0,531**	1	0,795**	0,987**
	p (2-tailed)	0,003	-	0,000	0,000
Model 2.	Pearsonova korelacija	0,503**	0,795**	1	0,810**
	p (2-tailed)	0,005	0,000	-	0,000
Model 3.	Pearsonova korelacija	0,565**	0,987**	0,810**	1
	p (2-tailed)	0,001	0,000	0,000	-

\*\*Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,01 (2-tailed)  
N 30  
p – razina statističke značajnosti

I ovdje se, kao i kod oznaka koje su izvedene bojom na bazi otapala, pojavio problem neodgovarajućih veličina koeficijenata i/ili konstanta, koji je kod Modela 2. i 3. doveo do toga da predviđene vrijednosti retrorefleksije nakon nekoga vremena (postojeće oznake) budu negativne. U Tablici 20. prikazani su rezultati postojećih modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka koji su dobiveni u skladu s podacima koji su korišteni za potrebe ovoga istraživanja. Osim navedenoga problema s veličinama koeficijenata i/ili konstanta kod Modela 2. i 3., zbog čega je upitna primjena navedenih modela u praksi, kod Modela 1. vidljivo je da su predviđene vrijednosti retrorefleksije, iako pozitivne, značajno niže od stvarno izmjerenih vrijednosti u istraživanju što ukazuje na ograničenost modela, odnosno njegovu netočnost.

Tablica 20. Deskriptivna analiza rezultata postojećih modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku

	Ar. sredina	SD	N
Retrorefleksija – izmjerena	242,53	22,09	30
Model 1.	96,39	20,75	30
Model 2.	-165,68	30,33	30
Model 3.	-579,20	118,72	30

**6.3.2. Deskriptivna analiza varijabla korištenih za izradu modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku**

Kao i kod oznaka koje su izvedene bojom na bazi otapala, zavisna je varijabla u ovom istraživanju *retrorefleksija postojećih oznaka* odnosno retrorefleksija oznaka nakon nekoga vremena, dok su prediktori zavisne varijable sljedeći:

- inicijalna retrorefleksija ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- starost oznake (dani)
- položaj oznake na cesti (0 = rubna linija; 1 = razdjelna)
- prosječni godišnji dnevni promet vozila t
- aktivnost zimske službe (broj prolazaka ralice).

*Inicijalna retrorefleksija* predstavlja retrorefleksiju oznake nakon izvođenja, a mjerena je dinamičkom metodom između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja oznaka. *Starost oznake* predstavlja broj dana proteklih od prvoga mjerenja (mjerenja inicijalne retrorefleksije) do drugog mjerenja kada je oznaka bila postojeća. *Položaj oznake na cesti* predstavlja nominalnu veličinu kojoj je definirana pozicija oznake tako da je vrijednost navedene varijable 0 ukoliko je oznaka rubna, a 1 ukoliko je razdjelna. *Prosječni godišnji dnevni promet* predstavlja prosječnu dnevnu količinu prometa u odnosu na ukupno ostvareni promet tijekom cijele godine te je za potrebe izrade modela predviđanja trajanja termoplastičnih oznaka, kao što je pojašnjeno u Poglavlju 6.3., zbog debljine nanosa i čvrstoće termoplastičnoga materijala, analiziran ukupni PGDP na cestama bez njegovoga rasčlanjivanja na osobna i na teretna. *Prosječno ograničenje brzine* također nije uzeto u obzir jer navedena varijabla nije bila statistički značajno povezana s degradacijom retrorefleksije kod boja na bazi otapala pa je očekivano, s obzirom na debljinu i čvrstoću termoplastičnih materijala, da ni kod termoplastičnoga materijala neće imati značajnoga utjecaja.

Rezultati deskriptivne statistike varijabla prikazani su u Tablici 21. Kako je varijabla *položaj oznake na cesti* jedina dihotomna (nominalna) varijabla, izdvojena je i prikazana u Tablici 22.

Tablica 21. Deskriptivna statistika korištenih varijabla

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – postojeća (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	30	201	298	242,53	22,09
Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	30	300	384	346,13	23,68
Starost oznake (dani)	30	242	503	437,40	57,29
PGDP – ukupno	30	2326	12778	6952,30	2028,72
Aktivnost zimske službe	30	0	27	18,67	6,99

Tablica 22. Deskriptivna statistika varijable položaj oznake na cesti

	N	Postotak
Rubna	14	46,7 %
Razdjelna	16	53,3 %
Ukupno	30	100,0 %

I u ovom je slučaju, kao preduvjet provođenja regresijske analize, provjeren oblik distribucije varijabla te je testiran normalitet distribucije *Shapiro-Wilkovim* testom na univarijatnoj razini za svaku varijablu zasebno, uz iznimku dihotomne varijable položaj oznake (Tablica 23.).

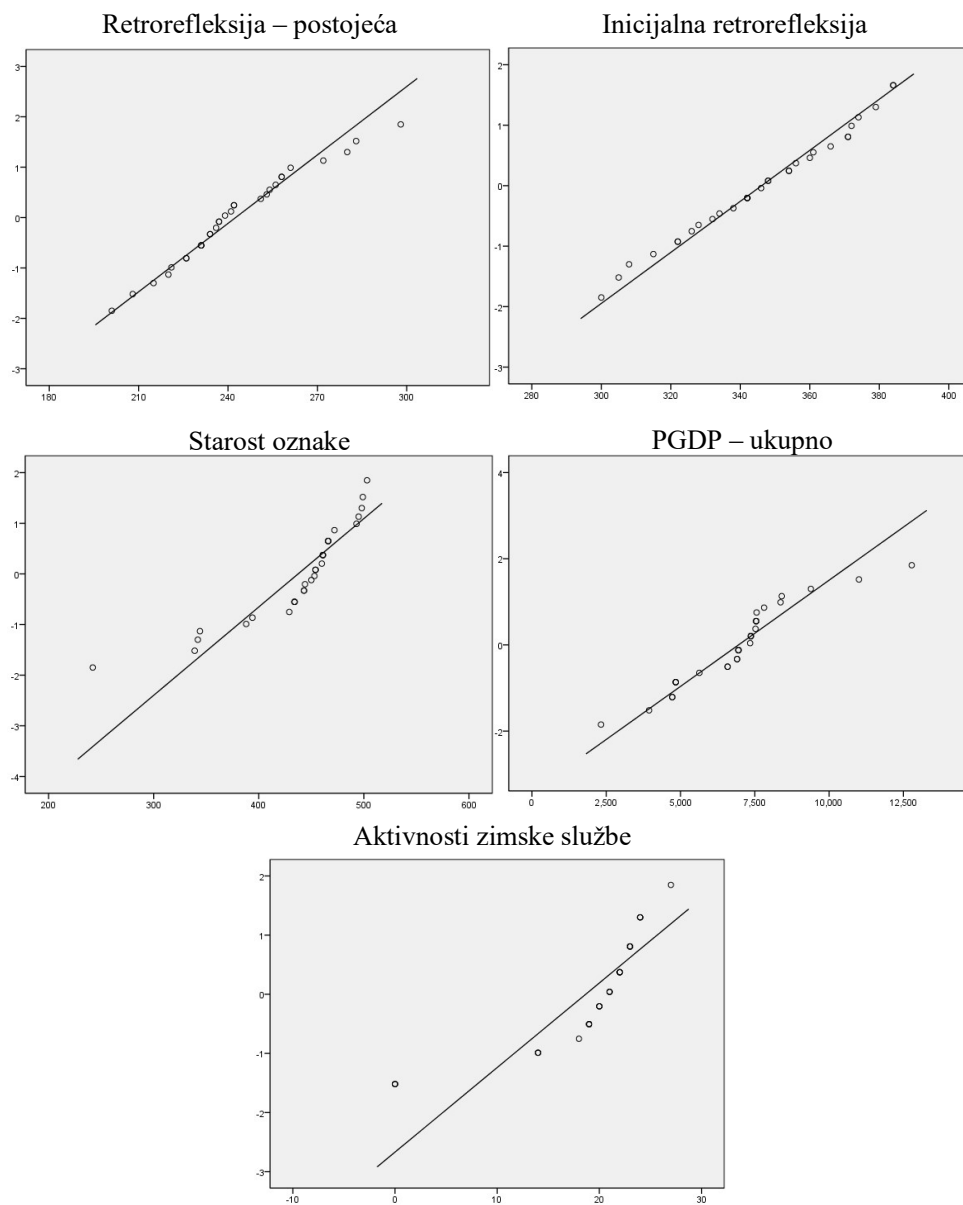
Tablica 23. Rezultati *Shapiro-Wilkovoga* testa normalne distribucije

	W	Stupnjevi slobode	p
<b>Retrorefleksija – postojeća</b>	0,971	30	<b>0,553</b>
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	0,971	30	<b>0,563</b>
Starost oznake	0,818	30	0,000
PGDP – ukupno	0,924	30	0,033
Aktivnost zimske službe	0722	30	0,000

Kao i u slučaju podataka za boju na bazi otapala od korištenih varijabla samo *retrorefleksija – postojeća* (zavisna varijabla) i *inicijalna retrorefleksija* prolaze *Shapiro-Wilkov* test normaliteta distribucije s obzirom na to da im je značajnost (p) veća od 0,05. Distribucije ostalih varijabla statistički, u skladu s rezultatima testa, odstupaju od normalne. Kao i u slučaju boje na bazi



otapala prema centralnom graničnom teoremu te Q-Q grafikonima (Slika 43.), iz kojih je zaključeno da je odstupanje varijabla od normalne distribucije zanemarivo, može se smatrati kako su sve korištene varijable normalno distribuirane čime je zadovoljen preduvjet za provođenje linearne regresije.



Slika 43. Q-Q grafikoni

#### 6.4. Analiza rezultata oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom

U svrhu je izrade modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih strukturiranom hladnom plastikom analizirano ukupno 497,9 km oznaka na kolniku na 20 državnih cesta u RH

te na 10 cesta na području Savezne Republike Njemačke. S obzirom na ograničenost primjene plastičnih materijala, a time i strukturirane hladne plastike u RH, dodatni su podaci s njemačkih cesta, koji su nužni za stvaranje minimalnoga statističkoga uzorka koji je potreban za regresijsku analizu, dobiveni od tvrtke *M. Swarovski GmbH* [81].

Od ukupno 30 analiziranih oznaka 16 je razdjelnih ukupne duljine od 292,7 km, dok je ostalih 14 rubnih ukupne duljine od 205,2 km. Prosječna izmjerena retrorefleksija obnovljenih oznaka iznosi 574,43 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz maksimalnu vrijednost od 653 mcd/lx/m<sup>2</sup> te minimalnu od 455 mcd/lx/m<sup>2</sup>. S druge strane, prosječna vrijednost postojećih oznaka iznosi 452,63 mcd/lx/m<sup>2</sup> uz maksimalnu vrijednost od 591 mcd/lx/m<sup>2</sup> te minimalnu od 306 mcd/lx/m<sup>2</sup> kao što je prikazano u Tablici 24. Sve su oznake, kao i kod prethodnih materijala, mjerene dva puta, prvi put između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja oznake te drugi put nakon zime kada je oznaka bila postojeća. Mjerenja retrorefleksije oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom korištena u ovom istraživanju provedena su u periodu od 2011. do 2015. godine.

Tablica 24. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – obnovljena	30	455	653	574,43	56,000
Retrorefleksija – postojeća	30	306	591	452,63	79,697

Uz retrorefleksiju oznaka prikupljeni su i ostali podaci vezani uz starost oznake, PGDP, položaj oznake na cesti te aktivnosti zimske službe (broj prolaska ralice tijekom zimskoga perioda). Kao i kod termoplastičnih oznaka zbog veće debljine nanosa materijala i čvrstoće samoga materijala prosječno ograničenje brzine u ovoj analizi nije uzeto u obzir. Također, analiziran je ukupni PGDP na cestama bez njegovoga rasčlanjenja na osobna i na teretna. Navedeni su podaci kao i vrijednosti retrorefleksije za svih 30 oznaka prikazani u Prilogu 3.

S obzirom na to da, koliko je poznato autoru, do sada nije izrađen niti jedan model predviđanja trajanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom, ovo istraživanje odnosno konačni model predstavlja prvi takav model dostupan u znanstvenoj literaturi.

Za izradu su navedenoga modela, kao i kod termoplastičnih oznaka, korištene sljedeće varijable kao prediktori: *inicijalna retrorefleksija* (mcd/lx/m<sup>2</sup>), mjerena dinamičkom metodom između 30-oga i 60-oga dana nakon izvođenja oznaka, *starost oznake*, odnosno broj dana proteklih od prvoga mjerenja (mjerenja inicijalne retrorefleksije) do drugoga mjerenja kada je oznaka bila

postojeća, *položaj oznake* (0 = rubna linija; 1 = razdjelna), *prosječni godišnji dnevni promet te aktivnost zimske službe* (broj prolazaka ralice). Zavisna je varijabla *retrorefleksija postojećih oznaka*.

Rezultati su deskriptivne statistike varijabla prikazani u Tablici 25. Kako je varijabla *položaj oznake na cesti* jedina dihotomna (nominalna) varijabla, izdvojena je i prikazana u Tablici 26.

Tablica 25. Deskriptivna statistika korištenih varijabla

	N	Minimum	Maksimum	Ar. sredina	SD
Retrorefleksija – postojeća (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	30	306	591	452,63	79,697
Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	30	455	653	574,43	56,000
Starost oznake (dani)	30	151	571	382,80	136,964
PGDP – ukupno	30	3716	10333	6732,50	1773,555
Aktivnost zimske službe	30	19	41	25,80	7,880

Tablica 26. Deskriptivna statistika varijable položaj oznake na cesti

	N	Postotak
Rubna	14	46,7 %
Razdjelna	16	53,3 %
Ukupno	30	100,0 %

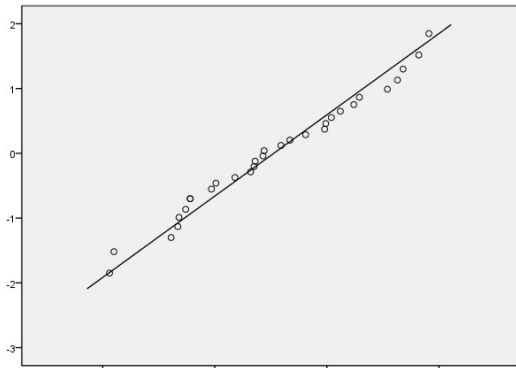
I u ovom je slučaju, kao preduvjet provođenju regresijske analize, provjeren oblik distribucije varijabla te je testiran normalitet distribucije *Shapiro-Wilkovim* testom na univarijatnoj razini za svaku varijablu zasebno, uz iznimku dihotomne varijable položaj oznake (Tablica 27.).

Tablica 27. Rezultati *Shapiro-Wilkovoga* testa normalne distribucije

	W	Stupnjevi slobode	p
<b>Retrorefleksija – postojeća</b>	<b>0,969</b>	30	<b>0,500</b>
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	<b>0,948</b>	30	<b>0,149</b>
Starost oznake	0,922	30	0,029
<b>PGDP – ukupno</b>	<b>0,948</b>	30	<b>0,150</b>
Aktivnost zimske službe	0,665	30	0,000

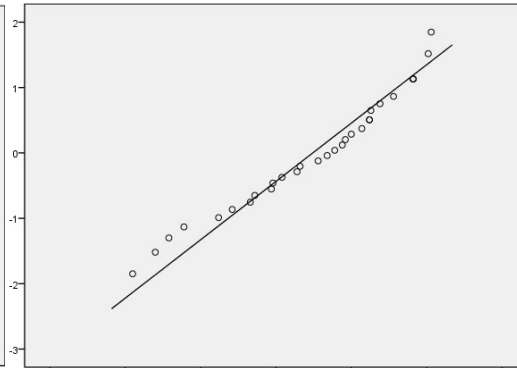
Od korištenih varijabla *retrorefleksija – postojeća* (zavisna varijabla), *inicijalna retrorefleksija* i *PDGP – ukupni* prolaze *Shapiro-Wilkov* test normaliteta distribucije jer im je značajnost (p) veća od 0,05. Distribucije ostalih varijabla statistički, u skladu s rezultatima testa, odstupaju od normalne, no kao i kod boja na bazi otapala te termoplastičnih oznaka za provjeru je normalne raspodjele navedenih varijabla korišten centralni granični teorem te Q-Q grafikoni (Slika 44.) iz kojih je zaključeno kako je odstupanje varijabla od normalne distribucije zanemarivo te kako se može smatrati da su sve korištene varijable normalno distribuirane čime je zadovoljen preduvjet za provođenje linearne regresije.

Retrorefleksija – postojeća

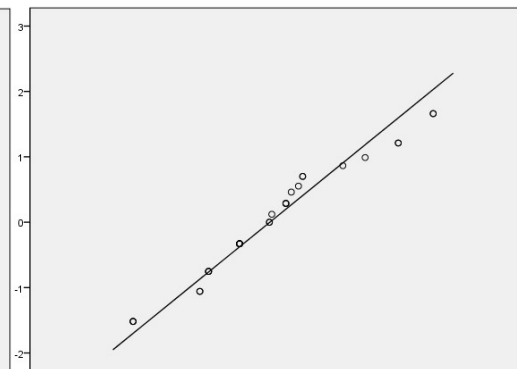
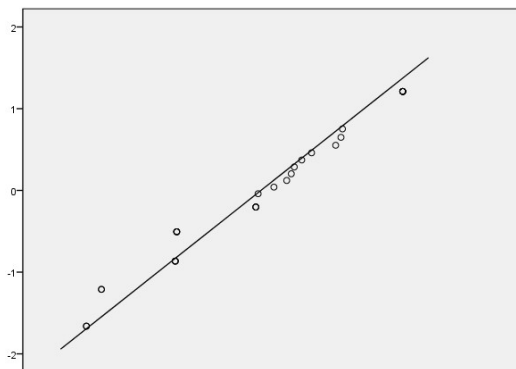


Starost oznake

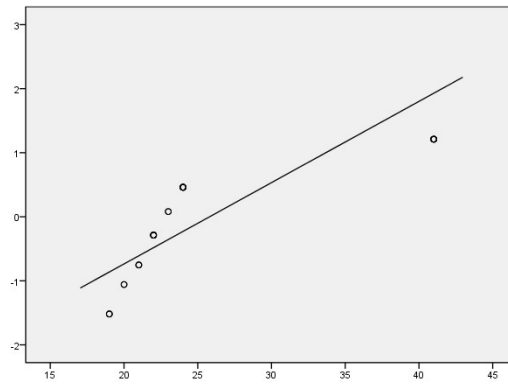
Inicijalna retrorefleksija



PGDP – ukupno



Aktivnosti zimske službe



Slika 44. Q-Q grafikoni

## 7. DEFINIRANJE MODELA PREDVIĐANJA TRAJANJA OZNAKA NA KOLNIKU

Na temelju statističke analize utjecaja pojedinih čimbenika kao što su: inicijalna retrorefleksija, starost oznake, položaj oznake na cesti, prosječni godišnji dnevni promet vozila, aktivnost zimske službe te prosječno ograničenje brzine na trajanje oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala, hladne strukturirane plastike i termoplastike, prikazane u Poglavlju 6., definirani su modeli za predviđanje trajanja oznaka na kolniku za navedene materijale.

U sljedećim će poglavljima biti definirani navedeni modeli.

### 7.1. Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojama na bazi otapala

Kao što je već navedeno, zavisna je varijabla u ovom istraživanju *retrorefleksija postojećih oznaka*, odnosno retrorefleksija oznake nakon određenoga vremena. Kao prediktori retrorefleksije postojećih oznaka u modelu korištene su sljedeće varijable:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake
- položaj oznake na cesti
- prosječni godišnji dnevni promet vozila rasčlanjen na osobna i na teretna vozila
- aktivnost zimske službe
- prosječno ograničenje brzine na cesti.

Od sedam korištenih prediktora bivarijatom analizom tri su se pokazala statistički značajno povezana s kriterijem odnosno zavisnom varijablom (retrorefleksijom postojećih oznaka): *inicijalna retrorefleksija* (koeficijent korelacije  $r = 0,402$ ), *starost oznake* (koeficijent korelacije  $r = -0,254$ ) te *aktivnost zimske službe* koja zapravo predstavlja broj prolaska ralica (koeficijent korelacije  $r = -0,482$ ).

Korelacije su korištenih prediktora s kriterijem prikazane u Tablici 28.

Tablica 28. Rezultati bivarijatne korelacijske analize

		Retrorefleksija – postojeća	Inicijalna retrorefleksija	Starost oznake	Položaj	PGDP – osobna	PGDP – teretna	Aktivnost zimske službe	Prosječno ograničenje brzine
Retrorefleksija – postojeća	r	-	<b>0,402**</b>	<b>-0,254**</b>	-0,172	0,007	-0,112	<b>-0,482**</b>	0,112
	p		0,000	0,006	0,066	0,937	0,235	0,000	0,234
Inicijalna retrorefleksija	r	0,402**	-	-0,016	0,088	<b>-0,282**</b>	-0,051	0,195*	0,127
	p	0,000		0,864	0,348	0,002	0,587	0,037	0,176
Starost oznake	r	<b>-0,254**</b>	-0,016	-	0,039	0,046	-0,022	0,163	-0,078
	p	0,006	0,864		0,678	0,622	0,813	0,082	0,405
Položaj	r	-0,172	0,088	0,039	-	0,032	0,002	-0,019	0,019
	p	0,066	0,348	0,678		0,732	0,984	0,837	0,843
PGDP – osobna vozila	r	0,007	<b>-0,282**</b>	0,046	0,032	-	<b>0,452**</b>	<b>-0,412**</b>	0,096
	p	0,937	0,002	0,622	0,732		0,000	0,000	0,307
PGDP – teretna vozila	r	-0,112	-0,051	-0,022	0,002	<b>0,452**</b>	-	0,079	<b>0,350**</b>
	p	0,235	0,587	0,813	0,984	0,000		0,401	0,000
Aktivnost zimske službe	r	<b>-0,482**</b>	0,195*	0,163	-0,019	<b>-0,412**</b>	0,079	-	-0,028
	p	0,000	0,037	0,082	0,837	0,000	0,401		0,766
Prosječno ograničenje brzine	r	0,112	0,127	-0,078	0,019	0,096	<b>0,350**</b>	-0,028	-
	p	0,234	0,176	0,405	0,843	0,307	0,000	0,766	

\*\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,01 (2-tailed).

\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,05 (2-tailed).

N=115

Kako bi se točno utvrdilo u kojoj se mjeri, na temelju statistički značajnih prediktora, može predvidjeti retrorefleksija postojećih oznaka, a time i trajanje istih, kao i koliki je samostalni doprinos svakoga od prediktora pri predviđanju, provedena je višestruka regresijska analiza (Tablica 29.).

Tablica 29. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Boja na bazi otapala	0,753 <sup>a</sup>	0,567	0,538	33,189	19,998	7	107	0,000

a. Prediktori: (konstanta), Prosječno ograničenje brzine, Položaj, Broj prolaska ralica, Starost oznake, Inicijalna retrorefleksija, PGDP – teretna vozila, PGDP – osobna vozila

b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz rezultata je višestruke regresijske analize prikazanih u Tablici 29. vidljivo kako koeficijent višestruke korelacije (R) iznosi 0,753 te kako je statistički značajan na razini rizika manjoj od 1 %, što znači da je prediktorima objašnjeno otprilike 57 % varijance kriterija (koeficijent determinacije R<sup>2</sup> iznosi 0,567). Korigirani R<sup>2</sup> predstavlja vrijednost koeficijenta determinacije korigiranoga s obzirom na broj ispitanika/uzoraka i broj prediktorskih varijabla te opisuje povoljnost navedenoga omjera. Kako je korigirani R<sup>2</sup> neznatno manji u odnosu na standardni R<sup>2</sup>, može se zaključiti da je omjer korištenih prediktorskih varijabla i uzoraka povoljan.

Provođenjem višestruke regresijske analize uključivanjem svih sedam prediktora dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 30.



Tablica 30. Višestruka regresijska analiza s uključenim prediktorima

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	64,687	40,220		1,608	0,111
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	0,597	0,080	0,507	7,481	<b>0,000</b>
<b>Starost oznake</b>	-0,130	0,063	-0,135	-2,061	<b>0,042</b>
<b>Položaj oznake</b>	-21,621	6,261	-0,221	-3,453	<b>0,001</b>
PGDP – osobna vozila	-0,001	0,001	-0,073	-0,847	0,399
PGDP – teretna vozila	-0,005	0,020	-0,022	-0,275	0,784
<b>Aktivnost zimske službe</b>	-2,238	,290	-0,590	-7,707	<b>0,000</b>
Prosječno ograničenje brzine	0,335	,590	0,039	0,567	0,572

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz Tablice 30. može se zaključiti kako se, u odnosu na rezultate bivarijatne korelacijske analize prikazane u Tablici 28., *položaj oznake* (razdjelna/rubna) pokazao kao statistički značajan prediktor u modelu iako je riječ o varijabli koja na bivarijatnoj razini nije bila statistički značajno povezana s kriterijem. Jedan je od mogućih razloga tomu da je riječ o svojevrsnom *supresor efektu* do kojega dolazi kada jedna varijabla nije povezana s kriterijem, ali je povezana s nekim drugim značajnim prediktorom te uključivanjem u analizu poboljšava sveukupnu predikciju. Međutim, ako se pogledaju rezultati korelacije *položaja oznake* s drugim prediktorima (Tablica 28.), vidljivo je kako položaj oznake nije statistički značajno povezan niti s jednim od ostalih prediktora, čak su sve njegove korelacije s drugim prediktorima vrlo niske. S obzirom na to da je od svih korištenih prediktora *položaj oznake* jedina dihotomna varijabla, što drugim riječima znači da je njezina varijanca znatno ograničena u odnosu na sve ostale, moguće je da je to razlog njezine statističke neznačajnosti kod bivarijatne korelacije.

Što se tiče ostalih varijabla, iste varijable koje su se kod bivarijatne korelacijske analize pokazale značajnima, a to su: inicijalna retrorefleksija, starost oznake te aktivnosti zimske službe, pokazale su se i pri višestrukoj regresijskoj analizi statistički značajnima (p vrijednost manja je od 0,05). Prosječni godišnji dnevni promet nije se pokazao statistički značajnim što potvrđuje činjenicu kako promet zanemarivo malo utječe na degradaciju retrorefleksije oznaka, a time i na njihovu trajnost. Naime, u dosadašnjim istraživanjima postoje mješoviti rezultati vezani uz značajnost PGDP-a, pa tako istraživanja kao što su u studijama [46] i [50] nisu zabilježila statistički značajan utjecaj prometa na degradaciju retrorefleksije, dok je u studijama

[44] i [52] zabilježen statistički značajan utjecaj, ali vrlo male značajnosti što pridonosi potvrdi dobivenih rezultata u ovom istraživanju.

U konačnici, zadržavanjem četiriju statistički značajnih prediktora iz regresijske analize dobiva se konačni model koji je prikazan u Tablici 31.

Tablica 31. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Boja na bazi otapala	0,749 <sup>a</sup>	0,560	0,544	32,973	35,056	4	110	0,000

a. Prediktori: (Konstanta), Aktivnost zimske službe, Položaj oznake, Starost oznake, Inicijalna retrorefleksija

b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz Tablice 31. vidljivo je kako je koeficijent determinacije (R<sup>2</sup>) tek neznatno smanjen u odnosu na početni model sa svim uključenim prediktorima, što u konačnici znači da navedena četiri prediktora objašnjavaju 56 % varijance kriterija odnosno zavisne varijable.

Konačni su koeficijenti svakoga prediktora prikazani u Tablici 32.

Tablica 32. Koeficijenti konačnoga modela

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	70,699	24,975		2,831	0,006
Inicijalna retrorefleksija	0,623	0,076	0,529	8,166	0,000
Starost oznake	-0,139	0,062	-0,145	-2,254	0,026
Položaj oznake	-21,891	6,214	-0,224	-3,523	0,001
Aktivnost zimske službe	-2,145	0,248	-0,566	-8,639	0,000

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz koeficijentata konačnoga modela koji je prikazan u Tablici 32. konačna regresijska jednadžba, odnosno model trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala glasi:

$$R_L = 70,699 + 0,623 * R_{Linicijalna} - 0,139 * t - 21,891 * p - 2,145 * r \quad (20)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija postojeće oznake na kolniku (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $R_{Linicijalna}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka nakon obnavljanja (mcd/lx/m<sup>2</sup>)
- $t$  – starost oznake (dani)
- $p$  – položaj oznake (1 = razdjelna, 0 = rubna)
- $r$  – broj aktivnosti zimske službe (broj prolazaka ralica).

## 7.2. Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih termoplastikom

Kao što je već navedeno, zavisna je varijabla u ovom istraživanju *retrorefleksija postojećih oznaka*, dok je za prediktore korišteno pet varijabla: *inicijalna retrorefleksija*, *starost oznake*, *položaj oznake na cesti*, *prosječni godišnji dnevni promet vozila* te *aktivnost zimske službe*.

Od pet korištenih prediktora, bivarijatnom analizom, tri su se pokazala statistički značajno povezana sa zavisnom varijablom (retrorefleksijom postojećih oznaka): *starost oznake* (koeficijent korelacije  $r = -0,531$ ), *PGDP ukupno* (koeficijent korelacije  $r = -0,364$ ) te *aktivnost zimske službe*, odnosno broj prolazaka ralica (koeficijent korelacije  $r = -0,373$ ) pri čemu je starost oznake najjače povezana s kriterijem.

Korelacije su korištenih prediktora s kriterijem prikazane u Tablici 33.

Tablica 33. Rezultati bivarijatne korelacijske analize za termoplastične oznake

		Retrorefleksija	Inicijalna retrorefleksija	Starost oznake	Položaj	PGDP – ukupno	Aktivnosti zimske službe
Retrorefleksija – postojeća	r	-	0,247	<b>-0,531**</b>	-0,020	<b>-0,364*</b>	<b>-0,373*</b>
	p		0,189	0,003	0,916	0,048	0,042
Inicijalna retrorefleksija	r	0,247	-	0,205	0,450*	0,276	0,466**
	p	0,189		0,276	0,013	0,139	0,009
Starost oznake	r	<b>-0,531**</b>	0,205	-	-0,086	0,517**	-0,021
	p	0,003	0,276		0,652	0,003	0,913
Položaj	r	-0,020	0,450*	-0,086	-	0,252	0,227
	p	0,916	0,013	0,652		0,179	0,228
PGDP – ukupno	r	<b>-0,364*</b>	0,276	0,517**	0,252	-	0,033
	p	0,048	0,139	0,003	0,179		0,863
Aktivnosti zimske službe	r	<b>-0,373*</b>	0,466**	-0,021	0,227	0,033	-
	p	0,042	0,009	0,913	0,228	0,863	

\*\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,01 (2-tailed).

\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,05 (2-tailed).

N = 30

Za točno utvrđivanje u kojoj se mjeri, na temelju statistički značajnih prediktora, može predvidjeti retrorefleksija postojećih oznaka, kao i koliki je samostalni doprinos svakoga od prediktora pri predviđanju, provedena je višestruka regresijska analiza (Tablica 34.).

Tablica 34. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Termoplastika	0,737 <sup>a</sup>	0,543	0,448	16,414	5,710	5	27	0,001

a. Prediktori: (konstanta), Inicijalna retrorefleksija, Starost oznake, Položaj, PGDP – ukupno, Aktivnosti zimske službe

b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz rezultata je prikazanih u Tablici 34. vidljivo kako koeficijent višestruke korelacije (R) iznosi 0,737 te kako je statistički značajan na razini rizika manjoj od 1 %. Drugim riječima, to znači da je korištenim prediktorima (inicijalna retrorefleksija, starost oznake, položaj, PGDP – ukupno te aktivnosti zimske službe) objašnjeno oko 54 % varijance kriterija. Odnos je između koeficijenta determinacije (R<sup>2</sup>) i korigiranoga R<sup>2</sup> također relativno mali, stoga se može zaključiti da je omjer korištenih prediktorskih varijabla i uzoraka povoljan.

Provođenjem višestruke regresijske analize uključivanjem svih pet prediktora dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 35.

Tablica 35. Višestruka regresijska analiza s uključenim prediktorima za termoplastične oznake

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	207,587	51,621		4,021	0,000
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	0,385	0,167	0,413	2,309	<b>0,030</b>
<b>Starost oznake</b>	-0,221	0,066	-0,574	-3,351	<b>0,003</b>
Položaj oznake	-12,130	7,182	-0,279	-1,689	0,104
PGDP – ukupno	-0,001	0,002	-0,119	-0,691	0,496
Aktivnost zimske službe	-0,744	0,498	-0,236	-1,495	0,148

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz Tablice 35. može se zaključiti kako se, u odnosu na rezultate bivarijatne korelacijske analize prikazane u Tablici 33., varijable *aktivnosti zimske službe* i *PGDP – ukupno* nisu pokazale kao statistički značajni prediktori u modelu iako su na bivarijatnoj razini bile statistički značajno povezane s kriterijem. S druge strane, varijabla *inicijalna retrorefleksija* koja na bivarijatnoj razini nije bila statistički značajno povezana s kriterijem u višestrukoregresijskoj analizi pokazala se kao statistički značajan prediktor. Uz inicijalnu je retrorefleksiju jedina statistički značajna varijabla *starost oznake*. Mogući je razlog tomu činjenica da su termoplastični materijali iznimno kompaktni i čvrsti te se nanose u debljem sloju zbog čega utjecaj prometa, položaja oznake i aktivnosti zimske službe nije značajan.

Na temelju *inicijalne retrorefleksije* i *starosti oznake* odnosno statistički značajnih prediktora dobiven je konačni model koji je prikazan u Tablici 36.

Tablica 36. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Termoplastika	0,644 <sup>a</sup>	0,414	0,371	17,524	9,552	2	27	0,001

a. Prediktori: (Konstanta), Inicijalna retrorefleksija, Starost oznake

b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz Tablice 36. vidljivo je da je koeficijent determinacije ( $R^2$ ) konačnoga modela 0,414, što zapravo znači kako navedena dva prediktora pojašnjavaju oko 41 % varijance zavisne varijable, a to u odnosu na početni model u kojem je bilo uključeno pet prediktora (Tablica 34.) predstavlja smanjenje od 13 %. Ovo ukazuje na to da i ostali prediktori, premda se u modelu nisu pokazali statistički značajnima, u određenoj mjeri ipak utječu na trajanje oznaka. S obzirom na ograničenost uzorka koji je korišten u ovom istraživanju (30 uzoraka), moguće je da se na većem uzorku neki od prediktora koji ovdje nisu statistički značajni pokažu statistički značajnima.

Konačni su koeficijenti svakoga prediktora prikazani u Tablici 37.

Tablica 37. Koeficijenti konačnoga modela

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	225,120	50,083		4,495	0,000
Inicijalna retrorefleksija	0,346	0,140	0,371	2,468	0,020
Starost oznake	-0,234	0,058	-0,608	-4,037	0,000

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz koeficijenata modela prikazanoga u Tablici 37. konačna regresijska jednadžba, odnosno model trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku glasi:

$$R_L = 225,120 + 0,346 * R_{Linicijalna} - 0,234 * t \quad (21)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija postojeće oznake na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $R_{Linicijalna}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka nakon obnavljanja ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $t$  – starost oznake (dani).

### 7.3. Model za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom

Kao što je već navedeno, zavisna je varijabla u ovom istraživanju *retrorefleksija postojećih oznaka*, dok je za prediktore korišteno pet varijabla: *inicijalna retrorefleksija*, *starost oznake*, *položaj oznake na cesti*, *prosječni godišnji dnevni promet vozila* te *aktivnost zimske službe*.

Od pet korištenih prediktora bivarijatnom su se analizom tri pokazala statistički značajno povezanima sa zavisnom varijablom (retrorefleksijom postojećih oznaka) uz nivo značajnosti 0,05: *inicijalna retrorefleksija* (koeficijent korelacije  $r = -0,568$ ), *starost oznake* (koeficijent korelacije  $r = -0,604$ ) te *aktivnost zimske službe* (koeficijent korelacije  $r = -0,535$ ), dok je *PGDP – ukupno* statistički značajan uz nivo značajnosti od 0,01 (koeficijent korelacije  $r = 0,441$ ). Dodatno, *PDGP* je pozitivno statistički povezan i s inicijalnom retrorefleksijom, kao i s retrorefleksijom postojećih oznaka, što znači da je u obama mjerenjima izmjerena retrorefleksija viša kod oznaka na opterećenijim cestama. Kao i kod termoplastičnih oznaka starost je oznake najjače povezana s kriterijem.

Korelacije su korištenih prediktora s kriterijem prikazane u Tablici 38.

Tablica 38. Rezultati bivarijatne korelacijske analize oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom

		Retrorefleksija	Inicijalna retrorefleksija	Starost oznake	Položaj	PGDP – ukupno	Aktivnosti zimske službe
Retrorefleksija – postojeća	r	-	<b>0,568**</b>	<b>-0,604**</b>	-0,247	<b>0,441*</b>	<b>-0,535**</b>
	p		0,001	0,000	0,187	0,015	0,002
Inicijalna retrorefleksija	r	0,568**	-	0,234	-0,147	0,368*	0,137
	p	0,001		0,213	0,439	0,045	0,470
Starost oznake	r	-0,604**	0,234	-	-0,036	-0,190	0,738**
	p	0,000	0,213		0,852	0,315	0,000
Položaj	r	-0,247	-0,147	-0,036	-	0,028	-0,248
	p	0,187	0,439	0,852		0,885	0,186
PGDP – ukupno	r	0,441*	0,368*	-0,190	0,028	-	-0,260
	p	0,015	0,045	0,315	0,885		0,165
Aktivnosti zimske službe	r	-0,535**	0,137	0,738**	-0,248	-0,260	-
	p	0,002	0,470	0,000	0,186	0,165	

\*\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,01 (2-tailed).

\* Korelacija statistički značajna uz nivo značajnosti od 0,05 (2-tailed).

N = 30



Za točno utvrđivanje u kojoj se mjeri, a na temelju statistički značajnih prediktora, može predvidjeti retrorefleksija postojećih oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom, kao i koliki je samostalni doprinos svakoga od prediktora pri predviđanju, provedena je višestruka regresijska analiza (Tablica 39.).

Tablica 39. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Hladna strukturirana plastika	0,975 <sup>a</sup>	0,950	0,940	19,509	91,996	5	24	0,000

a. Prediktori: (konstanta), Inicijalna retrorefleksija, Starost oznake, Položaj, PGDP – ukupno, Aktivnosti zimske službe  
b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz rezultata je prikazanih u Tablici 39. vidljivo kako koeficijent višestruke korelacije (R) iznosi visokih 0,975 te kako je statistički značajan na razini rizika manjoj od 1 %. Drugim riječima, to znači da je korištenim prediktorima (inicijalna retrorefleksija, starost oznake, položaj, PGDP – ukupno te aktivnosti zimske službe) objašnjeno čak 95 % varijance kriterija. Dodatno, odnos je između koeficijenta determinacije (R<sup>2</sup>) i korigiranoga R<sup>2</sup> zanemariv na temelju čega se može zaključiti kako je omjer korištenih prediktorskih varijabla i uzoraka povoljan.

Provođenjem višestruke regresijske analize uključivanjem svih pet prediktora dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 40.

Tablica 40. Rezultati višestruke regresijske analize s uključenim prediktorima

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	90,220	40,494		2,228	0,036
<b>Inicijalna retrorefleksija</b>	1,000	0,075	0,703	13,348	<b>0,000</b>
<b>Starost oznake</b>	-0,344	0,042	-0,591	-8,276	<b>0,000</b>
<b>Položaj oznake</b>	-35,705	7,683	-0,227	-4,647	<b>0,000</b>
PGDP – ukupno	0,001	0,002	0,012	0,228	0,821
<b>Aktivnost zimske službe</b>	-2,510	0,735	-0,248	-3,416	<b>0,002</b>

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Nakon provedene regresijske analize prikazane u Tablici 40. može se zaključiti kako su se tri od četiriju prediktora, koji su kriterijem bili statistički značajno povezani na bivarijatnoj razini, pokazali i kao značajni prediktori u modelu: *inicijalna retrorefleksija*, *starost oznake* i *broj prolazaka ralice*, dok se *PGDP – ukupno* nije pokazao statistički značajnim prediktorom. Kao i kod boja na bazi otapala i ovdje se *položaj oznake* pokazao kao statistički značajan prediktor u modelu iako je riječ o varijabli koja na bivarijatnoj razini nije bila statistički značajno povezana s kriterijem. Jedno je od mogućih objašnjenja tzv. *supresor efekt*, no zbog ograničenoga uzorka ostaje nejasno preko koje je varijable *položaj oznake* povezan s kriterijem.

S druge strane, *PGDP – ukupno* kao varijabla koja je bila značajno povezana s kriterijem na bivarijatnoj razini nije se pokazao kao značajan prediktor u modelu. Objašnjenje je u činjenici da se hladna strukturirana plastika, kao i termoplastika, izvodi u debljem sloju te je općenito riječ o materijalu veće čvrstoće kod kojega je utjecaj prometa na njegovu degradaciju zanemarivo mali.

U konačnici je, na temelju *inicijalne retrorefleksije*, *starosti oznake*, *položaja oznake* te *aktivnosti zimske službe*, dobiven konačni model koji je prikazan u Tablici 41.

Tablica 41. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela za predviđanje trajanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom

Model	R	R <sup>2</sup>	Korigirani R <sup>2</sup>	Standardna pogreška prognoze	Značajnost koeficijenta višestruke reg. analize			
					F omjer	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p
Hladna strukturirana plastika	0,975 <sup>a</sup>	0,950	0,942	19,135	119,514	4	25	0,000

a. Prediktori: (Konstanta), Inicijalna retrorefleksija, Starost oznake, Položaj oznake, Aktivnosti zimske službe

b. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz rezultata je višestruke regresijske analize prikazanih u Tablici 41. vidljivo da koeficijent determinacije (R<sup>2</sup>) konačnoga modela iznosi visokih 0,950, što zapravo znači da navedeni prediktori pojašnjavaju čak 95 % varijance zavisne varijable. Ukoliko se navedeno usporedi s početnim modelom u koji je uključena i varijabla *PGDP – ukupno* (Tablica 39.), vidljivo je da se izbacivanjem navedene varijable nije izgubilo na prediktivnoj snazi modela.

Konačni su koeficijenti svakoga prediktora prikazani u Tablici 42.

Tablica 42. Koeficijenti konačnoga modela

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijent	t	p
	B	Standardna pogreška	Beta		
(Konstanta)	90,583	39,688		2,282	0,031
Inicijalna retrorefleksija	1,007	0,066	0,708	15,184	0,000
Starost oznake	-0,345	0,041	-0,593	-8,500	0,000
Položaj oznake	-35,642	7,531	-0,227	-4,733	0,000
Aktivnosti zimske službe	-2,535	0,712	-0,251	-3,561	0,002

a. Zavisna varijabla: Retrorefleksija – postojeća

Iz koeficijenata konačnoga modela prikazanoga u Tablici 42. konačna regresijska jednadžba, odnosno model trajanja oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom glasi:

$$R_L = 90,583 + 1,007 * R_{Linicijalna} - 0,345 * t - 35,642 * p - 2,535 * r \quad (22)$$

gdje je:

- $R_L$  – retrorefleksija postojeće oznake na kolniku ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $R_{Linicijalna}$  – inicijalna retrorefleksija oznaka nakon obnavljanja ( $\text{mcd/lx/m}^2$ )
- $t$  – starost oznake (dani)
- $p$  – položaj oznake (1 = razdjelna, 0 = rubna)
- $r$  – aktivnosti zimske službe (broj prolazaka ralica).

#### 7.4. Verifikacija izrađenih modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku

U svrhu je daljnje provjere točnosti dobivenih modela provedena verifikacija konačnih modela na temelju novih uzoraka podataka koji nisu korišteni u izradi konačnih modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku. Navedeni podatci koji su korišteni za verifikaciju modela vezani su uz one varijable koje su se u pojedinom modelu pokazale statistički značajnima, pa su tako za boju na bazi otapala i strukturiranu hladnu plastiku korištene: *inicijalna retrorefleksija*, *starost oznake*, *pozicija oznake* te *aktivnosti zimske službe*, dok su za termoplastiku korištene: *inicijalna retrorefleksija* i *starost oznake*. Također, za provjeru su točnosti modelirane retrorefleksije korišteni stvarni podatci o retrorefleksiji postojećih oznaka izmjereni u skladu sa Smjernicama i tehničkim zahtjevima za izvođenje radova na obnavljanju oznaka na kolniku [108].

Iz rezultata je verifikacije koji su prikazani u Tablici 43. vidljivo kako je prosječna izmjerena retrorefleksija postojećih oznaka izvedenih bojom na bazi otapala  $173,97 \text{ mcd/lx/m}^2$ , dok prosječna modelirana retrorefleksija istoga materijala iznosi  $170,96 \text{ mcd/lx/m}^2$ . Prosječna apsolutna razlika između izmjerene i modelirane retrorefleksije iznosi  $10,4 \text{ mcd/lx/m}^2$  odnosno  $6,18 \%$ , iz čega se može zaključiti da je konačni model za predviđanje boja na bazi otapala zadovoljavajuće točan. Također, prema dobivenim je podacima na temelju konačnoga modela za predviđanje trajanja bojanih oznaka, koje je prikazano u izrazu (21), i minimalnih razina retrorefleksije koje su potrebne vozačima i definirane u dosadašnjim istraživanjima [30], [33], [34] te [35] izračunano da trajanje oznaka izvedenih bojom na bazi otapala uz minimalnu razinu retrorefleksije od  $100 \text{ mcd/lx/m}^2$  iznosi  $753,61$  dan, odnosno  $393,6$  dana uz minimalnu razinu retrorefleksije od  $150 \text{ mcd/lx/m}^2$ . U skladu s tim može se zaključiti kako je vijek trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala između jedne i dviju godina, što je u skladu s recentnim znanstvenim istraživanjima u studijama [52] i [51]. Također, dobiveni je vijek trajanja nešto duži u odnosu na dosadašnju praksu [39] [84]. Mogući je razlog tomu tehnološki napredak pri proizvodnji što dovodi do kvalitetnijih materijala s dužim vijekom trajanja. Nadalje, unaprjeđenje procesa izvođenja oznaka također doprinosi dužem vijeku trajanja oznaka.

Kod termoplastičnih oznaka prosječna apsolutna razlika između izmjerene i modelirane retrorefleksije iznosi  $38,31 \text{ mcd/lx/m}^2$  odnosno  $13,05 \%$ , što je zadovoljavajuće s obzirom na to da je koeficijent determinacije ( $R^2$ ) modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka  $0,414$ . Iz izračuna je vijeka trajanja termoplastičnih oznaka, u skladu s izrazom (22), vidljivo da je za dostizanje minimalnih razina retrorefleksije od  $100$  i  $150 \text{ mcd/lx/m}^2$  termoplastičnim oznakama potrebno  $1\ 097,76$  te  $884,09$  dana odnosno  $3,01$  i  $2,42$  godine, što je u skladu s postojećim spoznajama u studijama [39], [43] te [84].

Apsolutna razlika između modelirane i stvarne vrijednosti retrorefleksije oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom iznosi  $64,31 \text{ mcd/lx/m}^2$  odnosno  $11,72 \%$ . Vijek je trajanja navedenih oznaka, uz minimalnu razinu retrorefleksije od  $100$  i  $150 \text{ mcd/lx/m}^2$ , u skladu s izrazom (22), izračunan na  $1\ 581,14$  te  $1\ 436,21$  dana odnosno  $4,33$  i  $3,93$  godine, što je također u skladu s dosadašnjim praktičnim spoznajama o trajnosti hladne plastike [22].

Podatci koji su korišteni za verifikaciju dobivenih modela prikazani su u Prilozima 4., 5. i 6.

Tablica 43. Rezultati verifikacije izrađenih modela

Model	N	Prosječna izmjerena retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječna modelirana retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječno trajanje oznake u danima (100 mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječno trajanje oznake u danima (150 mcd/lx/m <sup>2</sup> )
Boja na bazi otapala	30	173,97	170,96	753,61	393,60
Termoplastika	10	291,20	252,89	1097,76	884,09
Hladna strukturirana plastika	10	547,10	482,79	1581,14	1436,21

Iz prikazanih rezultata verifikacije može se zaključiti kako sva tri modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku imaju, na realnim podacima, pogreške u okvirima zadovoljavajućega te kako učinkovito mogu predvidjeti trajanje pojedinoga materijala za izvođenje oznaka na kolniku te se kao takvi mogu koristiti za optimizaciju aktivnosti održavanja oznaka na kolniku.

## 8. DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA

Cilj je istraživanja koje je provedeno u okviru ove doktorske disertacije razvijanje modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih od triju najčešće korištenih materijala, a to su: boja na bazi otapala, termoplastika i hladna strukturirana plastika. U tu su svrhu statistički analizirani relevantni čimbenici koji utječu na degradaciju retrorefleksije, a time i na trajanje oznaka na kolniku, kao što su: inicijalna retrorefleksija, starost oznake, položaj oznake na cesti, prosječni godišnji dnevni promet vozila, aktivnost zimske službe te prosječno ograničenje brzine na cesti.

Prije izrade samih modela provedena je, na temelju podataka korištenih u ovom istraživanju, verifikacija postojećih modela dostupnih u znanstvenoj literaturi. Rezultati verifikacije pokazuju kako modeli dostupni u dosadašnjoj literaturi postižu statistički značajne korelacije sa stvarnim izmjerenim vrijednostima retrorefleksije oznaka. Međutim, njihova je točnost slaba te se koeficijenti determinacije ( $R^2$ ) kreću između 0,06 i 0,22 za boje na bazi otapala te 0,28, 0,25 i 0,32 za termoplastične oznake. Ovdje je važno napomenuti kako, koliko je autoru poznato, nema modela za predviđanje trajanja oznaka izvedenih strukturiranom hladnom plastikom, stoga model izrađen u ovom istraživanju predstavlja prvi model za predviđanje trajanja navedenoga materijala. Iz navedenoga se može zaključiti kako dosadašnji modeli imaju određena ograničenja zbog kojih ne predviđaju trajanje oznaka dovoljno točno, što uvelike ograničava njihovu primjenu pri optimizaciji aktivnosti održavanja oznaka.

U okviru ove doktorske disertacije ukupno su izrađena tri modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene bojom na bazi otapala, termoplastikom i hladnom strukturiranom plastikom. U svrhu izrade modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku koje su izvedene bojom na bazi otapala analizirano je sedam varijabla od kojih su se četiri pokazale statistički značajno povezane s kriterijem (retrorefleksijom nakon određenoga vremena), a to su:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake
- položaj oznake na cesti
- aktivnost zimske službe.

Prosječni godišnji dnevni promet rasčlanjen na osobna i na teretna vozila nije se pokazao statistički značajan te se može zaključiti kako je njegov utjecaj na trajanje oznaka koje su

izvedene bojom na bazi otapala zanemariv. Navedeno se može potvrditi i na temelju dosadašnjih istraživanja u kojima postoje mješoviti rezultati vezani uz značajnost PGDP-a, no čak i u istraživanjima u kojima se PGDP pokazao značajnim, njegova je značajnost izrazito mala što pridonosi potvrdi dobivenih rezultata u ovom istraživanju.

Koeficijent determinacije ( $R^2$ ) dobivenoga modela za predviđanje trajanja oznaka koje su izvedene bojom na bazi otapala iznosi 0,560, što u konačnici znači da navedena četiri prediktora objašnjavaju 56 % varijance kriterija odnosno zavisne varijable. Dodatna je provjera točnosti modela provedena na novom uzorku stvarnih podataka koji nisu korišteni pri izradi modela. Usporedbom stvarnih i modeliranih vrijednosti retrorefleksije zaključeno je kako je razlika među njima 6,18 %. Također, na temelju dobivenoga modela i minimalnih razina retrorefleksije koja je potrebna vozačima i definirana u dosadašnjim istraživanjima, izračunano je da oznake izvedene bojom na bazi otapala traju dvije godine uz minimalnu razinu retrorefleksije od 100 mcd/lx/m<sup>2</sup>, odnosno jednu godinu uz minimalnu razinu retrorefleksije od 150 mcd/lx/m<sup>2</sup>.

Za izradu je modela za predviđanje termoplastičnih oznaka na kolniku analizirano ukupno pet varijabla. Prosječno ograničenje brzine u ovoj analizi nije uzeto u obzir jer navedena varijabla nije bila statistički značajno povezana s degradacijom retrorefleksije kod boja na bazi otapala pa je očekivano da ni kod termoplastičnih oznaka neće biti statistički značajna, s obzirom na debljinu nanosa i čvrstoću materijala. Iz istoga se razloga varijabla PGDP u ovom slučaju nije rasčlanjivala na osobna i na teretna vozila, već se analizirao ukupan PGDP na pojedinoj cesti. Od ukupno pet varijabla dvije su se pokazale statistički značajnima, a to su:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake.

Koeficijent determinacije ( $R^2$ ) konačnoga modela iznosi 0,414, što zapravo znači da navedena dva prediktora pojašnjavaju oko 41 % varijance zavisne varijable. U odnosu na početni model koji je uključivao svih pet prediktora i čiji  $R^2$  iznosi 0,543, točnost je konačnoga modela smanjena za 13 %. Ovo ukazuje na to da i ostali prediktori, premda se u modelu nisu pokazali statistički značajnima, u određenoj mjeri ipak utječu na trajanje oznaka. S obzirom na ograničenost uzorka koji je korišten u ovom istraživanju (30 uzoraka), moguće je da se na većem uzorku neki od prediktora koji ovdje nisu statistički značajni pokažu statistički značajnima.

Usprkos navedenom ograničenju model se dodatnom verifikacijom na novom uzorku od deset podataka pokazao zadovoljavajuće točan (razlika između stvarnih i modeliranih vrijednosti

retrorefleksije iznosi 13,05 %) te je izračunom predviđeno trajanje oznaka između 3,01 i 2,42 godine, ovisno o minimalnoj razini retrorefleksije (100 i 150 mcd/lx/m<sup>2</sup>).

Kako se hladna plastika i termoplastika ubrajaju u skupinu plastičnih materijala relativno sličnih karakteristika s gledišta debljine nanosa i čvrstoće, za izradu je modela predviđanja trajanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom analizirano istih pet varijabla koje su analizirane u slučaju termoplastike. Od pet varijabla četiri su se pokazale statistički značajne, a to su:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake
- položaj oznake na cesti
- aktivnost zimske službe.

Koeficijent determinacije ( $R^2$ ) konačnoga modela iznosi visokih 0,950, što zapravo znači da navedeni prediktori pojašnjavaju čak 95 % varijance zavisne varijable. Dodatnom je verifikacijom na novom uzorku od deset podataka zaključeno kako je razlika između stvarnih i modeliranih vrijednosti retrorefleksije 11,72 %, što je zadovoljavajuće. Na temelju je modela izračunano kako trajanje navedenoga materijala iznosi između 4,33 i 3,93 godine, ovisno o minimalnoj razini retrorefleksije (100 i 150 mcd/lx/m<sup>2</sup>), što je u skladu s dosadašnjim općenitim spoznajama o trajanju oznaka koje su izvedene hladnom plastikom.

Iz svega se navedenoga može zaključiti kako je točnost svih triju modela zadovoljavajuća, što omogućava njihovu učinkovitu primjenu za optimizaciju aktivnosti održavanja oznaka na kolniku.

### **8.1. Ograničenja znanstvenoga istraživanja**

Iako su rezultati istraživanja, koje je provedeno u okviru ove doktorske disertacije, pokazali zadovoljavajuće ishode u vidu mogućnosti učinkovitoga i točnoga predviđanja trajanja oznaka na kolniku, a time i unaprjeđenja i optimizacije sustava njihova održavanja, navedeno istraživanje ima i određena ograničenja.

Ponajprije je ograničenje istraživanja vezano uz veličinu uzoraka na temelju kojih su izrađeni modeli za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka i oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom. Naime, s obzirom na ograničenost primjene navedenih materijala u RH uzorak je proširen dodatnim podatcima dobivenima od tvrtke *Swarco, Gmbh* te je ukupno prikupljen uzorak od 30 oznaka za svaki navedeni materijal. Utjecaj je relativno maloga uzorka



podataka vidljiv kod termoplastičnih oznaka gdje je konačnim modelom pojašnjeno oko 41 % varijance zavisne varijable što ukazuje na to da i ostali prediktori, premda se u modelu nisu pokazali statistički značajnima, u određenoj mjeri ipak utječu na trajanje oznaka.

Sljedeće je ograničenje vezano uz analizirane prediktore, odnosno varijable koje utječu na trajanje oznaka izvedenih pojedinim materijalom. Naime, prema studiji [9] na trajanje oznaka na kolniku utječe niz čimbenika: vrsta materijala, položaj oznake (razdjelne ili rubne), starost oznake, prosječni godišnji dnevni promet (PGDP), vrsta ceste, broj oznaka (linija) na cesti, vrsta asfaltnoga pokrova na cesti, dopuštena brzina prometa, količina soli, količina abrazivnih sredstava te količina aktivnosti zimskoga održavanja ceste.

Zbog nedostatne baze podataka čimbenici kao što su: količina soli i abrazivnih sredstava, vrsta asfaltnoga pokrova, vrsta staklenih perla itd. nisu u ovom istraživanju analizirani, što također u određenoj mjeri može utjecati na točnost dobivenih modela.

Također, s obzirom na to da se u RH ne koriste svi dostupni materijali za izvođenje oznaka na kolniku, ovo je istraživanje ograničeno na tri najčešće korištena materijala. Iako su navedeni materijali najčešći i u drugim zemljama, noviji materijali kao što su boje na bazi vode ili različite strukturirane oznake izvedene termoplastikom i hladnom plastikom također su u upotrebi.

Nadalje, u ovom su istraživanju za izradu modela korišteni podatci s dvotračnih dvosmjernih cesta zbog čega je potrebno provjeriti prediktivnu mogućnost dobivenih modela za ostale kategorije cesta kao što su brze ceste ili autoceste.

## **8.2. Buduća istraživanja**

S obzirom na navedena ograničenja istraživanja predlaže se provođenje daljnjih istraživanja koja će dodatno analizirati utjecaj čimbenika koji u ovom istraživanju, zbog nedostataka podataka, nisu obuhvaćeni. To se ponajprije odnosi na vrstu i kvalitetu staklenih perla, vrstu i stanje kolničkoga pokrova te na količine soli i abrazivnih sredstava.

Prema znanstvenim istraživanjima u studijama [10] i [11] važan su čimbenik koji utječe na degradaciju retrorefleksije odnosno na trajanje oznaka staklene perle čija kvaliteta i količina u određenoj mjeri utječe na vidljivost, a time i na njihov trajanje. Kako kvaliteta staklenih perla ovisi o njihovoj granulaciji, indeksu loma, okruglosti te kemijskom premazu predlaže se provođenje istraživanja koje će analizirati utjecaj navedenih čimbenika na razinu i degradaciju retrorefleksije te na cjelokupno trajanje oznaka.

Daljnja evaluacija i verifikacija modela dobivenih u ovom istraživanju također se predlaže kako bi se na širem uzorku točnije odredila točnost samih modela te kako bi se provjerila prediktivna mogućnost dobivenih modela za ostale kategorije cesta kao što su brze ceste ili autoceste.

### **8.3. Originalnost rada**

Originalnost ovoga istraživanja odnosno doktorske disertacije očituje se u cjelovitoj analizi ključnih čimbenika koji utječu na trajanje oznaka na kolniku na temelju kojih su izrađeni modeli za predviđanje trajanja pojedinih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Naime, rezultati verifikacije postojećih modela dostupnih u znanstvenoj literaturi pokazuju da isti, iako postižu statistički značajne korelacije sa stvarnim izmjerenim vrijednostima retrorefleksije oznaka, nemaju zadovoljavajuću točnost zbog čega je njihova primjena ograničena. Mogući je razlog tomu sama metodologija prikupljanja podataka jer je u većini dosadašnjih istraživanja retrorefleksija oznaka na kolniku mjerena statičkom metodom.

Statička metoda podrazumijeva primjenu mjernih uređaja koji se ručno postavljaju na oznake te tako mjere njihovu vidljivost. Kako je mjerno područje ručnih retroreflektometara relativno malo, oni ne mjere vidljivost cijele oznake već samo jednoga manjega dijela. Također, zbog maloga su mjernoga područja moguće značajne varijacije pri mjerenju oznake čak i ako se uređaj pomakne samo za nekoliko centimetara zbog čega je vrlo teško točno odrediti lokaciju gdje se prethodno mjerila retrorefleksija, a s obzirom na to da su za izradu modela potrebna barem dva mjerenja: jedno nakon što je oznaka izvedena te drugo nakon zimskoga perioda.

S druge strane, dinamička metoda, korištena za prikupljanje podataka u ovom istraživanju, podrazumijeva mjerenje retrorefleksije oznaka primjenom dinamičkoga mjernoga uređaja čije je mjerno područje u odnosu na mjerno područje statičkih uređaja oko 77 puta veće (ovisno o pojedinim karakteristikama statičkoga retroreflektometra). Na taj se način pri mjerenju obuhvaća cijela oznaka te se dobivaju cjelovitiji i relevantniji podatci o razini retrorefleksije.

Iako su određena istraživanja primjenjivala dinamičku metodu, ista je u to vrijeme bila tek u razvoju te je, s obzirom na slabu snagu predviđanja modela razvijenih u navedenim istraživanjima, njezina točnost upitna. Danas se navedena metodologija uvelike koristi te je njezina točnost dokazana. S obzirom na navedeno, primjena suvremene metodologije prikupljanja podataka vezanih uz retrorefleksiju oznaka na kolniku također predstavlja originalnost rada.

Dodatno, dobiveni model za predviđanje trajanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom predstavlja, koliko je autoru poznato, prvi takav model dostupan u znanstvenoj literaturi.

## 9. ZAKLJUČAK

Oznake na kolniku kao dio prometne signalizacije oblikuju prometnu površinu te pružaju informacije vezane uz vizualno vođenje sudionika u prometu. Od svoje su prve primjene pa sve do danas oznake postale općeprisutni element prometne infrastrukture, ali i značajan element sigurnosti cestovnoga prometa. Kako bi oznake mogle učinkovito izvršavati svoju funkciju te time doprinijeti povećanju prometne sigurnosti, one moraju biti vidljive u svim vremenskim i prometnim uvjetima, odnosno moraju biti odgovarajuće i pravovremeno održavane.

Upravo vidljivost odnosno retrorefleksija oznaka predstavlja njihovu glavnu karakteristiku prema kojoj se određuju ciklusi i aktivnosti održavanja oznaka. Međutim, bez cjelovitoga uvida u ključne čimbenike koji utječu na degradaciju retrorefleksije, a time i na trajanje pojedinih materijala za izvođenje oznaka na kolniku nije moguće u potpunosti optimizirati aktivnosti održavanja osiguravajući zadovoljavajuću razinu vidljivosti koja je potrebna vozačima.

Iz navedenih je razloga razumljiva potreba za modelima za predviđanje trajanja oznaka na kolniku. Iako je do danas razvijeno nekoliko modela za predviđanje trajanja različitih materijala (najčešće boja i termoplastike) za izvođenje oznaka na kolniku, većina tih modela ima relativno niske koeficijente determinacije ( $R^2$ ), što znači da su pogreške modela visoke. Čak i modeli s visokim  $R^2$  imaju ili statistički značajne nedostatke ili ne omogućuju modeliranje trajanja svih najkorištenijih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Također, neujednačenost u rezultatima dosadašnjih istraživanja upućuje na činjenicu da je potrebna cjelovitija analiza utjecaja pojedinih čimbenika na trajanje oznaka primjenom suvremenih metodologija i instrumenata pri provođenju istraživanja kako bi se osigurala objektivnost i relevantnost dobivenih rezultata.

Glavni je cilj ovoga istraživanja, provedenoga u okviru doktorske disertacije, razviti modele predviđanja trajanja oznaka na kolniku koji će, za razliku od dosadašnjih razvijenih modela, učinkovitije i točnije predviđati trajanje oznaka izvedenih od triju najčešće korištenih materijala, a to su: boja na bazi otapala, termoplastika i hladna strukturirana plastika. Pri razvoju je modela detaljno analiziran utjecaj relevantnih čimbenika na degradaciju retrorefleksije, a time i na trajanje oznaka na kolniku. Ti su čimbenici, definirani kao nezavisne varijable u istraživanju, sljedeći: inicijalna retrorefleksija, starost i pozicija oznake, prosječni godišnji dnevni promet, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine.

Za pouzdan je izračun prostornih i vremenskih varijacija vidljivosti, a time i trajanja oznaka na kolniku primijenjena suvremena metoda prikupljanja podataka o retrorefleksiji poznata pod

nazivom dinamičko ispitivanje retrorefleksije. Dinamička metoda ispitivanja retrorefleksije omogućuje mjerenje noćne vidljivosti odnosno retrorefleksije dinamičkim mjernim uređajem u cijeloj njihovoj dužini. Mjerni se uređaj postavlja na mjerno vozilo, s lijeve ili s desne strane, ovisno o tome ispituje li se razdjela ili rubna linija, te se na taj način omogućuje stalno mjerenje retrorefleksije oznaka tijekom vožnje što omogućuje prikupljanje cjelovitih podataka vezanih uz retrorefleksiju oznaka.

Ukupno su u okviru ove doktorske disertacije izrađena tri modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala, termoplastikom i hladnom strukturiranom plastikom. Prije izrade samih modela provedena je, na temelju podataka korištenih u ovom istraživanju, verifikacija postojećih modela koja je pokazala kako dosadašnji modeli imaju određena ograničenja zbog kojih ne predviđaju trajanje oznaka dovoljno točno što uvelike ograničava njihovu primjenu pri optimizaciji aktivnosti održavanja oznaka.

U svrhu izrade modela za predviđanje trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala analizirane su sljedeće varijable: inicijalna retrorefleksija, starost oznake, položaj oznake na cesti, prosječni godišnji dnevni promet vozila rasčlanjen na osobna i na teretna vozila, aktivnost zimske službe te prosječno ograničenje brzine na cesti. Od ukupno sedam analiziranih prediktora četiri su se pokazala statistički značajnima, a to su:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake
- položaj oznake na cesti
- aktivnost zimske službe.

Prosječni godišnji dnevni promet nije se pokazao statistički značajnim što potvrđuje činjenicu da promet zanemarivo malo utječe na degradaciju retrorefleksije oznaka, a time i na njihovu trajnost. Naime, u dosadašnjim istraživanjima postoje mješoviti rezultati vezani uz značajnost PGDP-a, pa i u istraživanjima u kojima se PGDP pokazao značajnim, njegova je značajnost izrazito mala što pridonosi potvrdi dobivenih rezultata u ovom istraživanju.

Pri izradi modela za predviđanje termoplastičnih oznaka na kolniku analizirane su sljedeće varijable: inicijalna retrorefleksija, starost i položaj oznake, prosječni godišnji dnevni promet vozila te aktivnost zimske službe. Prosječno ograničenje brzine u ovoj analizi nije uzeto u obzir jer navedena varijabla nije bila statistički značajno povezana s degradacijom retrorefleksije kod boja na bazi otapala. Naime, kako je debljina termoplastičnih materijala između 1 i 3 mm za neprofilirane oznake te maksimalno do 6 mm za profilirane oznake, očekuje se da prosječno

ograničenje brzine kod termoplastičnoga materijala, kao i kod boja na bazi otapala, neće imati značajnoga utjecaja upravo zbog navedene debljine nanosa i čvrstoće materijala. Iz istoga se razloga varijabla PGDP u slučaju termoplastičnih oznaka nije raščlanjivala na osobna i na teretna vozila, već se analizirao ukupni PGDP na pojedinoj cesti. Od ukupno pet varijabla dvije su se pokazale statistički značajnima. To su:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake.

Kako hladna plastika ima slične karakteristike, s gledišta debljine nanosa i čvrstoće, kao i termoplastika za potrebe je izrade modela predviđanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom također analizirano pet varijabla: inicijalna retrorefleksija, starost i položaj oznake, prosječni godišnji dnevni promet vozila te aktivnost zimske službe. Četiri su se varijable pokazale statistički značajne i to:

- inicijalna retrorefleksija
- starost oznake
- položaj oznake na cesti
- aktivnost zimske službe.

Sva tri dobivena modela imaju zadovoljavajuću točnost s obzirom na to da koeficijenti determinacije ( $R^2$ ) iznose: 0,560 – boje na bazi otapala, 0,414 – termoplastika te 0,950 strukturirana hladna plastika. Dodatno, sva su tri modela verificirana na novom stvarnom uzorku podataka, a rezultati verifikacije pokazuju kako razlika između modeliranih i stvarnih vrijednosti retrorefleksije oznaka iznosi:

- 6,18 % za boje na bazi otapala
- 13,05 % za termoplastičke oznake
- 11,72 % za oznake izvedene hladnom strukturiranom plastikom.

Primjenom je dobivenih modela i minimalnih razina retrorefleksije koje su potrebne vozačima i definirane u dosadašnjim istraživanjima ( $100 \text{ mcd/lx/m}^2$  i  $150 \text{ mcd/lx/m}^2$ ) izvršen izračun trajanja oznaka izvedenih pojedinim materijalom. Rezultati pokazuju kako je trajanje oznaka izvedenih bojom na bazi otapala između jedne i dviju godina, termoplastike između 3,01 i 2,42 godine te hladne strukturirane plastike između 4,33 i 3,93 godine, što je u skladu s dosadašnjim praktičnim i znanstvenim spoznajama.

Iz navedenoga se može zaključiti da su ovom doktorskom disertacijom potvrđene znanstvene hipoteze istraživanja:

1. Degradacija retrorefleksije, a time i trajanje oznaka za različite vrste materijala od kojih se oznake izvode ovisi o skupu čimbenika (prosječni godišnji dnevni promet, starost i pozicija oznake, aktivnosti zimskoga održavanja ceste te prosječno ograničenje brzine vožnje), a utjecaj se pojedinoga čimbenika na trajanje oznake može odrediti istraživanjem korelacije između retrorefleksije i skupine čimbenika.
2. Uključivanjem više čimbenika s definiranom jačinom utjecaja na vidljivost oznaka postiže se pouzdanija procjena vijeka trajanja oznaka na kolniku.

Također, ovim su radom potvrđeni i izvorni znanstveni doprinosi u polju *Tehnologija prometa i transport* definirani na temelju postavljenih hipoteza, ciljeva i rezultata istraživanja. To su:

- računski učinkovit postupak predviđanja trajanja oznaka na kolniku za različite vrste materijala za izvođenja oznaka
- određivanje jačine utjecaja pojedinoga čimbenika na trajanje oznaka na kolniku
- optimizacija aktivnosti održavanja oznaka na kolniku.

Iz svega se navedenoga može zaključiti kako je istraživanje provedeno u okviru ove doktorske disertacije ispunilo svoje ciljeve te kako dobiveni modeli mogu učinkovito i točno predvidjeti trajanje oznaka na kolniku koje su izvedene bojom na bazi otapala, termoplastikom i hladnom strukturiranom plastikom na dvotračnim dvosmjernim cestama. Primjenom je navedenih modela u sustavu održavanja oznaka na kolniku moguće optimizirati aktivnosti njihova obnavljanja tako da se, na temelju izračuna dobivenih modelom, definiraju raspored i prioriteta obnavljanja. Također, dobiveni modeli mogu služiti za analizu učinkovitosti pojedinih materijala, tehnika i tehnologija izvođenja oznaka. Naime, na temelju je povijesnih podataka o inicijalnoj retrorefleksiji pojedinih materijala za izvođenje oznaka na kolniku te primjene modela moguće definirati optimalnu tehnologiju, odnosno odabrati optimalan materijal za pojedine geografske, klimatske i prometne uvjete u kojima se određena cesta nalazi.

Optimiziranjem je sustava održavanja oznaka na temelju dobivenih modela, osim racionalizacije troškova vezanih uz obnavljanje oznaka, moguće pozitivno djelovati na cjelokupnu sigurnost prometa jer će se vozačima osigurati potrebna razina vidljivosti oznaka, posebno u uvjetima smanjene vidljivosti.

## POPIS LITERATURE

- [1] Europska komisija. 2017. *Statistika sigurnosti prometa*.  
Dostupno na: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-17-675\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-17-675_en.htm). (4.5.2017.).
- [2] Svjetska zdravstvena organizacija. 2017. *Cestovne ozljede*.  
Dostupno na: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>. (27.12.2016.).
- [3] Ministarstvo unutarnjih poslova. 2016. *Bilten o sigurnosti cestovnog prometa*. Zagreb. RH.
- [4] Babić, D.; Ščukanec, A. 2016. Determining the Correlation Between Daytime and Night-time Road Markings Visibility. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 11(4):283-290. DOI: 10.3846/bjrbe.2016.33.
- [5] Industrial Commercial Striping. 2015. *A Brief History of Road Surface Marking and Striping*.  
Dostupno na: <http://icstriping.com/a-brief-history-of-road-surface-marking-and-striping/>. (11.1.2017.).
- [6] Miller, T. 1992. Benefit–cost Analysis of Lane Marking. *Transportation Research Record*. 1334 : 38–45.
- [7] Smadi, O.; Souleyrette, R.; Omand, D.; Hawkins, N. 2008. Pavement Marking Retroreflectivity: Analysis of Safety Effectiveness. *Journal of the Transportation Research Board*. 2056 : 17–24. DOI: 10.3141/2056-03.
- [8] Avelar, R. E.; Carlson, P. J. 2014. Link Between Pavement Marking Retroreflectivity and Night Crashes on Michigan Two-Lane Highways. *Journal of the Transportation Research Board*. 2404 : 59–67. DOI: 10.3141/2404-07.
- [9] Shahata, K.; Fares, H.; Zayed, T.; Abdelrahman, A.; Chughtai, F. 2008. Condition Rating Models for Sustainable Pavement Marking. *Transport Research Board 87th Annual Meeting Compendium of Papers DVD*. Washington DC. SAD. 08–0018.
- [10] Grosgees, T. 2008. Retro-reflection of Glass Beads for Traffic Road Stripe Paint. *Optical Materials*. 30(10) : 1549–1554. DOI: 10.1016/j.optmat.2007.09.010.
- [11] Zhang, G. H.; Hummer, J. E.; Rasdorf, W. 2010. Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity. *Journal of Transportation Engineering*. 136(8) : 773–781. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000142.
- [12] Lundkvist, S. O.; Ytterbom, U.; Runersjoe, L. 1990. *Continuous Edgeline on Nine-meter-wide Two-lane Roads*. Izvještaj. Swedish Road and Traffic Research Institute. Linköping. Švedska.



- [13] Davidse, R.; Driel, C.; Goldenbeld, C. 2004. *The Effect of Altered Road Markings on Speed and Lateral Position*. Izveštaj. Institute for Road Safety Research. Leidschendam. Nizozemska.
- [14] Shinar, D.; Rockwell, T.; Mallecki, J. 1980. The Effects of Changes in Driver Perception on Rural Curve Negotiation. *Ergonomics*. 23(3) : 263–275. DOI: 10.1080/00140138008924739.
- [15] Agent, K.; Creasy, T. 1986. *Delineation of Horizontal Curves*. Izveštaj. Kentucky Transportation Research Program. Lexington. SAD.
- [16] Retting, R.; Farmer, C. 1998. Use of Pavement Markings to Reduce Excessive Traffic Speeds on Hazardous Curves. *Transportation Research Board 78th Annual Meeting*. Washington DC. SAD.
- [17] Ščukanec, A. 2003. *Primjena retroreflektirajućih materijala u funkciji cestovnoprometne sigurnosti*. Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [18] Federal Highway Administration: Department of Transportation. 1981. *Highway Safety Stewardship Report*. Izveštaj. Washington DC. SAD.
- [19] National Cooperative Highway Research Program. 2002. *Long-Term Pavement Marking Practices Chapter Four: Traffic Crashes and Pavement Markings*. Izveštaj. Washington DC. SAD.
- [20] Tsyganov, A. R.; Machemehl, R. B.; Warrenchuk, N. M.; Wang, Y. 2006. *Before-After Comparison of Edgeline Effects on Rural Two-Lane Highways*. Izveštaj. Texas Department of Transportation. Austin. SAD.
- [21] Dravitzki, V. K.; Lester, T.; Wilkie, S. M. 2006. *The Safety Benefits of Brighter Roadmarkings*. Izveštaj. Land Transport. Wellington. Novi Zeland.
- [22] National Cooperative Highway Research Program. 2006. *Pavement Marking Materials and Markers: Real-World Relationship between Retroreflectivity and Safety over Time*. Izveštaj. Toronto. Canada.
- [23] Smadi, O.; Souleyrette, R.; Ormand, D.; Hawkins, N. 2008. Analysis of the Safety Effectiveness of Pavement Marking Retroreflectivity. *Journal of the Transportation Research Board*. 2056 : 17–24. DOI: 10.3141/2056-03.
- [24] Smadi, O.; Hawkins, N.; Nlenanya, I.; Aldemir-Bektas, B. 2010. *Pavement Markings and Safety*. Izveštaj. Center for Transportation Research and Education. Iowa. SAD.
- [25] Carlson, P.; Park, E. S.; Kang, D. H. 2013. Investigation of Longitudinal Pavement Marking Retroreflectivity and Safety. *Journal of the Transportation Research Board*. 2337 : 59–66. DOI: 10.3141/2337-08.

- [26] Avelar, R. E.; Carlson, P. J. 2014. Characterizing the Association Between Nighttime Crashes and Retroreflectivity of Edgelines and Centerlines on Michigan Rural Two-Lane Highways. *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Record*. Washington DC. SAD.
- [27] Aldemir-Bektas. B.; Gkritza, K.; Smadi, O. 2016. Pavement Marking Retroreflectivity and Crash Frequency: Segmentation, Line Type, and Imputation Effects. *Journal of Transportation Engineering*. 142(8) : 04016030. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000863.
- [28] Aktan, F.; Schnell, T. 2004. Performance Evaluation of Pavement Markings Under Dry, Wet, and Rainy Conditions in the Field. *Journal of the Transportation Research Board*. 1877 : 38–49. DOI: 10.3141/1877-05.
- [29] Finley, M. D.; Carlson, P. J.; Trout, N. D.; Jasek, D. L. 2002. *Sign and Pavement Marking Visibility from the Perspective of Commercial Vehicle Drivers*. Izvještaj. Texas Transportation Institute. Austin. SAD.
- [30] Graham, J.; Harrold, J.; King, L. 1996. Pavement Marking Retroreflectivity Requirements for Older Drivers. *Journal of the Transportation Research Board*. 1529 : 65–70. DOI: 10.3141/1529-08.
- [31] Zwahlen, H.; Schnell, T. 1997. Driver Eye-Scanning Behavior as Function of Pavement Marking Configuration. *Journal of the Transportation Research Board*. 1605 : 62–72. DOI: 10.3141/1605-08.
- [32] Zwahlen, H.; Schnell, T. 2000. Minimum In-Service Retroreflectivity of Pavement Markings. *Journal of the Transportation Research Board*. 1715 : 60–70. DOI: 10.3141/1715-09.
- [33] Loetterle, F.; Beck, R.; Carlson, P. J. 2000. Public Perception of Pavement-Marking Brightness. *Journal of Transportation Research Board*. 1715 : 51–59. DOI: 10.3141/1715-08.
- [34] Parker, N.; Meja, M. 2003. Evaluation of Performance of Permanent Pavement Markings. *Journal of Transportation Research Board*. 1824 : 123–132. DOI: 10.3141/1824-14.
- [35] Debailon, C.; Carlson, P. J.; He, Y.; Schnell, T.; Fuat Aktan, F. 2007. *Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs*. Izvještaj. Federal Highway Administration. Georgetown Pike. SAD.
- [36] Gibbons, R.; Williams, B.; Cottrell, B. 2012. Refinement of Drivers' Visibility Needs During Wet Night Conditions. *Journal of the Transportation Research Board*. 2272 : 113–120. DOI: 10.3141/2272-13.

- [37] Gibbons, R.; Hankey, J. 2007. Wet Night Visibility of Pavement Markings: Dynamic Experiment. *Journal of the Transportation Research Board* 2015 : 73–80. DOI: 10.3141/2015-09.
- [38] Higgins, L; Miles, J.; Carlson, P. J.; Burns, D.; Aktan, F.; Zender, M.; Kaczmarczik, J. 2009. Nighttime Visibility of Prototype Work Zone Markings under Dry, Wet-Recovery, and Rain Conditions. *Journal of the Transportation Research Board*. 2107 : 69–75. DOI: 10.3141/2107-07.
- [39] Graham-Migletz Enterprises. 1994. *Roadway Delineation Practices Handbook*. Priručnik. Washington DC. SAD.
- [40] Perrin, J.; Martin, P.; Hansen, B. 1998. A Comparative Analysis of Pavement Marking Materials. *Transportation Research Board Annual Conference*. Washington DC. SAD.
- [41] Andrady, A. L. 1997. *Pavement Marking Materials: Assessing Environment-friendly Performance*. Izvještaj. National Academy of Science. Washington DC. SAD.
- [42] Lee, J. T.; Maleck, T. L.; Taylor, W. C. 1999. Pavement Marking Material Evaluation Study in Michigan. *Journal of Institute of Transportation Engineers*. 69(7) : 48–51.
- [43] Migletz, J.; Graham, J. L.; Harwood, D. W.; Bauer, K. M. 2001. Service Life of Durable Pavement Markings. *Journal of Transportation Research Board*. 1749 : 13–21. DOI: 10.3141/1749-03.
- [44] Abboud, N.; Bowman, B. 2002. Cost and Longevity-based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping. *Journal of the Transportation Research Board*. 1794 : 55–62. DOI: 10.3141/1794-07.
- [45] Lindly, J. K.; Wijesundera, R. K. 2003. *Evaluation of Profiled Pavement Markings*. Izvještaj. University Transportation Center for Alabama. Tuscaloosa. SAD.
- [46] Sarasua, W. A.; Clarke, D. B.; Davis, W. J. 2003. *Evaluation of Interstate Pavement Marking Retroreflectivity*. Izvještaj. Clemson University. South Carolina. SAD.
- [47] Kopf, J. 2004. Reflectivity of Pavement Markings: Analysis of Retroreflectivity Degradation Curves. Izvještaj. Washington State Transportation Center. Washington DC. SAD.
- [48] Zhang, Y.; Wu, D. 2006. Methodologies to Predict Service Lives of Pavement Marking Materials. *Journal of the Transportation Research Forum*. 45(3) : 5–18. DOI: 10.5399/osu/jtrf.45.3.601.
- [49] Fitch, J. M. V.; Ahearn, W. E. 2007. *Pavement Marking Durability Statewide*. Izvještaj. Agency of Transportation, Vermont. SAD.

- [50] Sitzabee, W. E.; Hummer, J. E.; Rasdorf, W.; Asce, F. 2009. Pavement Marking Degradation Modeling and Analysis. *Journal of Infrastructure Systems*. 15(3) : 190–199. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:3(190).
- [51] Hummer, J. E.; Rasdorf, W.; Zhang, G. 2011. Linear Mixed-Effects Models for Paint Pavement-Marking Retroreflectivity Data. *Journal of Transportation Engineering*. 137(10) : 705–716. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000283.
- [52] Mull, D. M.; Sitzabee, W. E. 2012. Paint Pavement Marking Performance Prediction Model. *Journal of Transportation Engineering*. 138(5) : 618–624. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000360.
- [53] Pike, A. M.; Songchitruksa, P. 2015. Predicting Pavement Marking Service Life Using Transverse Test Deck Data. *Journal of the Transportation Research Board*. 2482(2582) : 16–22. DOI: 10.3141/2482-03.
- [54] Traffic Signs & Meaning. 2013. History of Road Markings and How they were First Designed.  
Dostupno na: <http://www.trafficsignsandmeanings.co.uk/history-road-markings-how-were-first-designed.html>. (1. 11. 2017.).
- [55] Library of Congress. 2017. An automobile on the sweeping curves of the Autobahn with view of the countryside.  
Dostupno na: <https://www.loc.gov/item/2001700458/>. (11.1.2017.).
- [56] Virginia Department of Transportation. Chapter 2: Reflective Glass Beads. 2012.  
Dostupno na: [http://www.virginiadot.org/business/resources/materials/mcs\\_study\\_guides/bu-mat-pavemarkch2.pdf](http://www.virginiadot.org/business/resources/materials/mcs_study_guides/bu-mat-pavemarkch2.pdf). (11.1.2017.).
- [57] Babić, D.; Burghardt, T. E.; Babić, D. 2015. Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. 5(2) : 150–169. DOI: [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06).
- [58] American Association of State Highway and Transportation Officials. 2004. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (5th ed.)*. Washington DC. SAD.
- [59] Zwahlen, H. T.; Schnell, T. 1999. Visibility of Road Markings as a Function of Age, Retroreflectivity Under Low-Beam and High-Beam Illumination at Night. *Journal of the Transportation Research Board*. 1692 : 152–163. DOI: 10.3141/1692-16.
- [60] *Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama* (NN 33/05, 64/05, 155/05, 14/11). 2005.
- [61] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. 2017. *Refleksija*.  
Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52212>. (16.1.2017.).

- [62] The Physics Classroom. Specular vs. Diffuse Reflection. 2017.  
Dostupno na: <http://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-1/Specular-vs-Diffuse-Reflection>. (16.1.2017.).
- [63] Boyce, P. R. 2008. *Lighting for Driving: Roads, Vehicles, Signs, and Signals*. CRC Press. New York. SAD.
- [64] RoadVista. 2012. *What is Retroreflection?*  
Dostupno na: <http://www.roadvista.com/retroreflection/>. (16.1.2017.).
- [65] Pocock, B. W.; Rhodes, C. C. 1952. Principles of Glass-Bead Reflectorization. *Pavement-marking Materials*. 1952 : 32–48.
- [66] Akademik. 2006. *Prizmatična retrorefleksija*.  
Dostupno na: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_tech/1284/%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/1284/%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9). (18.1.2017.).
- [67] HRN EN 1436:2009 - Materijali za oznake na kolniku - Retroreflektirajući markeri - 1. dio: Osnovna zahtijevana svojstva. Europska norma.
- [68] Wang, J. H.; Cao, Y. 2004. *Effects of Road Marking Luminance Contrast on Driving Safety*. Izvještaj. University of Rhode Island: Department of Industrial and Manufacturing Engineering. Kingston. SAD.
- [69] Zwahlen, H. T.; Schnell, T. 1995. Visibility of New Pavement Markings at Night Under Low-beam Illumination. *Journal of the Transportation Research Board*. 1495 : 117–127.
- [70] Jacobs, G. F.; Johnson, N. L. 1995. Yellow Pavement Markings with Yellow Nighttime Color. *Transportation Research Record*. 1495 : 147–155.
- [71] Zwahlen, H. T.; Schnell, T. 1996. Visibility of New Dashed Yellow and White Center Stripes as a Function of Material Retroreflectivity. *Journal of the Transportation Research Board*. 1553 : 73–80. DOI: DOI: 10.3141/1553-11.
- [72] Zwahlen, H. T.; Hagiwara, T.; Schnell, T. 1995. Visibility of New Yellow Center Stripes as a Function of Obliteration. *Transportation Research Record*. 1495 : 77–86.
- [73] Zwahlen, H. T.; Schnell, T. 1997. Visibility of New Centerline and Edge Line Pavement Markings. *Journal of the Transportation Research Board*. 1605 : 49–61. DOI: 10.3141/1605-07.
- [74] Oliver, W. 1977. *An Evaluation of the 10:30 Centerline Marking Pattern*. Izvještaj Virginia Highway and Transportation Research Council. Charlottesville. SAD.

- [75] Dudek, C. L.; Huchingson, R. D.; Creasey, F. T.; Pendleton, O. 1988. Field Studies of Temporary Pavement Markings at Overlay Project Work Zones on Two-lane, Two-way Rural Highways. *Transportation Research Board*. 1160 : 22–34.
- [76] Dudek, C. L.; Huchingson, R. D.; Woods, D. L. 1980. Evaluation of Temporary Marking Patterns for Work Zones. *Transportation Research Record*. 1086 : 12–20.
- [77] Harkey, D. L.; Mera, R.; Byington, S. R. 1993. Effect of Nonpermanent Pavement Markings on Driver Performance. *Transportation Research Record*. 1409 : 52–61.
- [78] Hautière, N.; Dumont, E.; Bremond, R.; Ledoux, V. 2009. Review of the Mechanisms of Visibility Reduction by Rain and Wet Road. *International Symposium on Automotive Lighting*. Darmstadt. Njemačka.
- [79] Geveko Markings. 2017.  
Dostupno na: <http://www.geveko-markings.com/viatherm-thermoplastic-road-marking-material.html>. (19.1.2017.).
- [80] Blaauw, G.; Padmos, P. 1982. *Nighttime Visibility of Various Types of Pavement Markings: A Study on Durability, Including Conditions of Rain, Fog, and Dew*. Izvještaj. Society of Automotive Engineers. Warrendale. SAD.
- [81] Swarco Traffic Systems GmbH
- [82] Mitrović A.; Ščukanec, A.; Babić, D. 2016. Impact of Winter Maintenance on Retroreflection of Road Markings. *International Scientific Conference: ZIRP*. Zagreb. RH.
- [83] Zhang, G.; Hummer, J. E.; Rasdorf, W.; Mastin, N. 2013. The Impact of Pavement Type and Roughness on Paint Marking Retroreflectivity. *Public Works Management & Policy*. 18(1) : 41–55. DOI: 10.1177/1087724X12438266.
- [84] Texas Department of Transportation. 2004. *Pavement Marking Handbook*. Izvještaj. Texas. SAD.
- [85] Helmers, G.; Lundkvist, S. 1991. *Visibility Distances to Pavement Markings in Headlight Illumination*. Izvještaj. Swedish Road and Traffic Research Institute. Linköping. Švedska.
- [86] National Institute on Aging. 2016. Older Drivers.  
Dostupno na: <https://nihseniorhealth.gov/olderdrivers/howagingaffectsdriving/01.html>. (20.1.2017.).
- [87] Alcohol and Drug Foundation. 2016. How Does Alcohol Affect Driving.  
Dostupno na: <http://www.druginfo.adf.org.au/topics/how-does-alcohol-affect-driving>. (24.1.2017.).

- [88] Nedas, N. D.; Baclar, G. P.; Macy, P. R. 1982. *Pavement Markings as an Alcohol Countermeasure in Traffic Safety: A Field Test of Standard and Wide Edgelines*. Izvještaj. Potters Industries. Inc. New York. SAD.
- [89] Johnston, I. 1983. *The Effects of Roadway Delineation on Curve Negotiation by Both Sober and Drinking*. Izvještaj. Australian Road Research Board. Melbourne. Australija.
- [90] Smadi, O.; Hawkins, N.; Aldemir-Bektas, B.; Carlson, P.; Pike, A.; Davies, C. 2013. *Predicting the Initial Retroreflectivity of Pavement Markings from Glass Bead Quality*. Izvještaj. National Cooperative Highway Research Program. Washington DC. SAD.
- [91] Swarco Traffic Systems GmbH. 2017. Swarcolux.  
Dostupno na: <https://www.swarco.com/en/Products-Services/Traffic-Materials/Glass-Beads/Standard-glass-bead-products/SWARCOLUX>. (25.1.2017.).
- [92] Gates, T. J.; Hawkins, H. G.; Rose, E. R. 2003. *Effective Pavement Marking Practices for Sealcoat and Hot-Mix Asphalt Pavements*. Izvještaj. Texas Department of Transportation. Texas. SAD.
- [93] Carnaby, B. 2006. Ten Years of Pavement Marking R&D to Improve Road Safety. *Proceeding of a 22nd ARRB Conference – Research into Practice*. Canberra. Australia.
- [94] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. 2017. *Refrakcija*.  
Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52225>. (25.1.2017.).
- [95] Burns, D. M.; Hedblom, T. P.; Miller, T. W. 2007. Modern Pavement Marking Systems: Relationship Between Optics and Nighttime Visibility. *Journal of the Transportation Research Board*. 2056 : 27. DOI: 10.3141/2056-06.
- [96] Swarco Traffic Systems GmbH. *Reflective Glass Bead Field Guide for Pavement Markings*. Priručnik.
- [97] O'Brien, J. 1989. Embedment And Retroreflectivity Of Drop-On Glass Spheres In Thermoplastic Markings. *Transportation Research Record* 1230 : 37–44.
- [98] Virginia Department of Transportation. 2009. *Pavement Marking Certification Study Guide*. Izvještaj. Materials Division of Virginia Department of Transportation. Virginia. SAD.
- [99] Rasdorf, W.; Zhang, G.; Hummer, J. E. 2009. The impact of Directionality on Plain Pavement Marking Retroreflectivity. *Public Works Management Policy*. 13(3) : 265–277. DOI: 10.1177/1087724X08330824.
- [100] Sarasua, W.; Davis, W. J.; Robertson, J.; Johnson, J. A. 2013. Methodology for Evaluating Centerline Markings in Temperate Climates. *Journal of Transportation*. 5(1) : 17–30. 2013.

- [101] Babić, D.; Ščukanec, A.; Babić, D. 2017. Determining the Impact of Directionality on Road Markings Retroreflectivity Using Dynamic Method. *Transport*. On-line izdanje. DOI: 10.3846/16484142.2017.1339208.
- [102] Dubey, C. G. 1999. Road markings A Technical Review of Products and Their Evolution. *Surface Coatings International*. 82(11) : 536–543.
- [103] Graco. LineLazer V 3900. 2017.  
Dostupno na: <http://www.graco.com/us/en/products/contractor/linelazer-v-3900.html>. (27.2.2017.).
- [104] Hofmann Road Marking Systems. H26-4. 2017.  
Dostupno na: <https://www.hofmannmarking.de/nc/en/products/machines/machine/h26-4-a-compact-and-narrow-machine-with-high-capacities-and-excellent-hill-climbing-ability/>. (27.2.2017.).
- [105] World Highways. 2015. University of Zagreb and Swarco Evaluate Road Paint for Toxins.  
Dostupno na: <http://www.worldhighways.com/categories/road-markings-barriers-workzone-protection/features/university-of-zagreb-and-swarco-evaluate-road-paint-for-toxins/>. (27.2.2017.).
- [106] Burghardt, T. E.; Babić, D.; Babić, D. 2016. Application of Waterborne Road Marking Paint in Croatia: Two Years of Road Exposure. *International Conference on Traffic and Transport Engineering*. Belgrade. Srbija.
- [107] Ščukanec, A.; Babić, D. 2012. Vidljivost oznaka na kolniku. *Dani prometnica: Građenje prometne infrastrukture*. 513–546.
- [108] Hrvatske ceste d.o.o. 2010. *Smjernice i tehnički zahtjevi za izvođenje radova na obnavljanju oznaka na kolniku – Horizontalna signalizacija*. Zagreb.
- [109] Benz, R. J.; Pike, A. M.; Kuchangi, S.; Brackett, Q. 2009. *Mobile Retroreflectivity Best Practices Handbook*. Priručnik. Texas Transportation Institute. Austin. SAD.
- [110] Zehntner. ZRM 6014. 2017.  
Dostupno na: <http://www.zehntner.com/products/categories/retroreflection/zrm-6014-retroreflectometer>. (12.3.2017.).
- [111] Ščukanec, A.; Babić, D. 2013. Metode mjerenja retrorefleksije prometnih znakova i oznaka na kolniku. *Dani prometnica: Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama*. 373–406.



- [112] Verkehrswesen, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen. 2013. *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen*. Priručnik. Bundesministerium für Verkehr. Bonn. Njemačka.
- [113] Zehntner. ZDR 6020. 2017.  
Dostupno na: [http://www.zehntner.com/download/prospekt\\_zdr6020\\_d\\_e.pdf](http://www.zehntner.com/download/prospekt_zdr6020_d_e.pdf). (13.3.2017.).
- [114] Babić, D.; Fiolić, M.; Prusa, P. 2013. Evaluation of Road Markings Retroreflection Measuring Methods. *Proceedings of 1st International Scientific Forum*. Tirana. Albanija.
- [115] Podaci Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu. 2017.
- [116] Hrvatske ceste d.o.o. 2013. *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2012*. Izvještaj. Prometis d.o.o. Zagreb.
- [117] Hrvatske ceste d.o.o. 2014. *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2013*. Izvještaj. Prometis d.o.o. Zagreb.
- [118] Hrvatske ceste d.o.o. 2015. *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2014*. Izvještaj. Prometis d.o.o. Zagreb.
- [119] Hrvatske ceste d.o.o. 2016. *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2015*. Izvještaj. Prometis d.o.o. Zagreb.
- [120] Podaci tvrtke Viatel d.o.o. (2017.)
- [121] Podaci tvrtke Hrvatske ceste d.o.o. 2017.
- [122] Petz, B.; Kolesarić, V.; Vanec, D. 2012. *Petzova statistika: Osnovne statističke metode za nematematičare*. Naklada Slap. Zagreb.

## POPIS SLIKA I TABLICA

### Popis slika:

Slika 1. „Crne oznake” izvedene na njemačkoj autocesti.....	25
Slika 2. Prikaz difuzne refleksije.....	30
Slika 3. Prikaz zrcalne refleksije .....	31
Slika 4. Prikaz negativnoga efekta zrcalne refleksije u prometu .....	31
Slika 5. Prikaz retrorefleksije.....	32
Slika 6. Prikaz sferične retrorefleksije oznaka na kolniku .....	32
Slika 7. Prikaz prizmatične retrorefleksije.....	33
Slika 8. Shematski prikaz čimbenika utjecaja na vidljivosti oznaka na kolniku .....	34
Slika 9. Prikaz retrorefleksije u suhim te u mokrim i kišnim uvjetima.....	37
Slika 10. Primjer strukturirane oznake na kolniku.....	37
Slika 11. Prikaz oštećenoga retroreflektirajućega materijala nakon raljenja snijega.....	38
Slika 12. Razlika u dnevnoj vidljivosti prljave rubne i čiste središnje linije.....	39
Slika 13. Prikaz retroreflektirajućega materijala ispod „brežuljka” pri hrapavim kolnicima..	40
Slika 14. Nepokrivenost stražnje strane „brežuljaka” kod hrapavih kolnika .....	41
Slika 15. Tanki prekrivenost materijalom i slabo utisnuće retroreflektirajućega materijala u oznaci na području „brežuljaka” kod hrapavih kolnika.....	41
Slika 16. Kutovi promatranja za različite tipove vozila .....	42
Slika 17. Staklene perle različitih granulacija.....	44
Slika 18. Prikaz retrorefleksije svjetlosti pri različitim indeksima loma staklenih perla .....	45
Slika 19. Prikaz „plutajućih” perla u oznaci na kolniku.....	47
Slika 20. Prikaz optimalnoga utisnuća staklenih perla u materijal .....	47
Slika 21. Prikaz nedovoljnoga utisnuća staklenih perla u materijal.....	48
Slika 22. Različit kut utisnuća perla u oznaci .....	50
Slika 23. Izvođenje bojanih oznaka strojem maloga (lijevo) i većega (desno) kapaciteta.....	53
Slika 24. Prikaz nanošenja boje i staklenih perla na kolnik.....	54
Slika 25. Struktura boja na bazi otapala .....	55
Slika 26. Struktura boja na bazi vode.....	56
Slika 27. Prikaz neprofilirane (slika lijevo) i profilirane oznake (slika desno) izvedene plastičnim materijalima .....	57
Slika 28. Proces proizvodnje i pripreme termoplastičnih materijala.....	59

Slika 29. Proces pripreme termoplastičnih materijala.....	59
Slika 30. Izvođenje termoplastičnih oznaka primjenom „Extrudera” .....	60
Slika 31. Prikaz oštećene i istrošene termoplastike.....	61
Slika 32. Proces proizvodnje i pripreme hladne plastike.....	62
Slika 33. Neprofilirane oznake na kolniku izrađene trakom .....	64
Slika 34. Sastav traka za privremene oznake na kolniku .....	64
Slika 35. Generički proces epoksi boja .....	65
Slika 36. Statički uređaj za mjerenje retrorefleksije oznaka na kolniku .....	70
Slika 37. Prikaz metodologije mjerenja noćne vidljivosti oznaka na kolniku.....	71
Slika 38. Proces ispitivanja oznaka u skladu s <i>Kentucky</i> metodologijom .....	72
Slika 39. Proces ispitivanja kvalitete oznaka u skladu s ZTV M13 metodologijom .....	73
Slika 40. Mjerno vozilo sa Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu s montiranim dinamičkim retroreflektometrom .....	73
Slika 41. Ukupne izmjerene količine u periodu od 2010. do 2016. godine.....	81
Slika 42. Q-Q grafikoni .....	87
Slika 43. Q-Q grafikoni .....	93
Slika 44. Q-Q grafikoni .....	97

#### **Popis tablica:**

Tablica 1. Kronološki prikaz dosadašnjih modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku ....	19
Tablica 2. Glavne karakteristike materijala za izvođenje oznaka na kolniku.....	67
Tablica 3. Broj mjernih odsječaka prema ZTV M13 .....	72
Tablica 4. Prednosti i nedostaci metoda za ispitivanje retrorefleksije oznaka na kolniku .....	75
Tablica 5. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti obnovljenih oznaka na cestama s PGDP < 10.000 vozila (oznake TIP I).....	76
Tablica 6. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti obnovljenih oznaka na cestama s PGDP > 10.000 vozila (oznake TIP II) .....	76
Tablica 7. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti postojećih oznaka na cestama s PGDP < 10.000 vozila (oznake TIP I).....	76
Tablica 8. Minimalne vrijednosti dnevne i noćne vidljivosti postojećih oznaka na cestama s PGDP > 10.000 vozila i oznake TIP II.....	77
Tablica 9. Ispitane količine u prvom dijelu (do srpnja 2013.).....	78
Tablica 10. Ispitane količine u drugom dijelu (do listopada 2014.).....	80
Tablica 11. Ispitane količine u trećem dijelu (do prosinca 2016.).....	80

Tablica 12. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku na analiziranim cestama .....	81
Tablica 13. Rezultati korelacijske analize predviđenih i stvarnih vrijednosti retrorefleksije oznaka na bazi otapala.....	83
Tablica 14. Deskriptivna analiza rezultata postojećih modela za predviđanje trajanja oznaka izvedenih bojom na bazi otapala .....	83
Tablica 15. Deskriptivna statistika korištenih varijabla .....	85
Tablica 16. Deskriptivna statistika varijable <i>položaj oznake na cesti</i> .....	85
Tablica 17. Rezultati <i>Shapiro-Wilkovoga</i> testa normalne distribucije .....	86
Tablica 18. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku na analiziranim cestama .....	88
Tablica 19. Rezultati korelacijske analize predviđenih i stvarnih vrijednosti retrorefleksije termoplastičnih oznaka .....	91
Tablica 20. Deskriptivna analiza rezultata postojećih modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku.....	91
Tablica 21. Deskriptivna statistika korištenih varijabla .....	92
Tablica 22. Deskriptivna statistika varijable položaj oznake na cesti.....	92
Tablica 23. Rezultati <i>Shapiro-Wilkovoga</i> testa normalne distribucije .....	92
Tablica 24. Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti retrorefleksije oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom .....	94
Tablica 25. Deskriptivna statistika korištenih varijabla .....	95
Tablica 26. Deskriptivna statistika varijable položaj oznake na cesti.....	95
Tablica 27. Rezultati <i>Shapiro-Wilkovoga</i> testa normalne distribucije .....	96
Tablica 28. Rezultati bivarijatne korelacijske analize.....	100
Tablica 29. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela.....	101
Tablica 30. Višestruka regresijska analiza s uključenim prediktorima .....	101
Tablica 31. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela.....	102
Tablica 32. Koeficijenti konačnoga modela .....	102
Tablica 33. Rezultati bivarijatne korelacijske analize za termoplastične oznake .....	104
Tablica 34. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka .....	105
Tablica 35. Višestruka regresijska analiza s uključenim prediktorima za termoplastične oznake .....	105
Tablica 36. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela.....	106

Tablica 37. Koeficijenti konačnoga modela .....	107
Tablica 38. Rezultati bivarijatne korelacijske analize oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom.....	108
Tablica 39. Rezultati višestruke regresijske analize početnoga modela za predviđanje trajanja termoplastičnih oznaka .....	109
Tablica 40. Rezultati višestruke regresijske analize s uključenim prediktorima .....	109
Tablica 41. Rezultati višestruke regresijske analize konačnoga modela za predviđanje trajanja oznaka izvedenih hladnom strukturiranom plastikom.....	110
Tablica 42. Koeficijenti konačnoga modela .....	111
Tablica 43. Rezultati verifikacije izrađenih modela.....	113

## POPIS PRILOGA

### Prilog 1.: Podatci korišteni za izradu modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku za boje na bazi otapala

Rd. broj uzorka	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Pad retrorefleksije	Položaj	PGDP Osobna	PGDP Teretna	PGDP Ukupno	Broj prolaska ralica	Prosječno ograničenje brzine
1.	326	19.07.2012.	143	15.05.2013.	300	-183	SR	2 029	181	2 209	16	54
2.	265	17.10.2013.	160	23.05.2014.	218	-105	SR	2 105	355	2 460	19	61
3.	249	17.10.2013.	112	05.05.2014.	200	-137	SR	2 029	181	2 209	17	54
4.	301	25.09.2013.	108	05.05.2014.	222	-193	SR	1 349	130	1 479	18	60
5.	348	02.10.2015.	165	31.05.2016.	242	-183	RB	2 052	210	2 262	22	54
6.	361	02.10.2015.	169	31.05.2016.	242	-192	RB	2 052	210	2 262	22	54
7.	297	23.08.2015.	191	31.05.2016.	282	-106	SR	2 052	210	2 262	22	54
8.	308	03.07.2013.	141	05.05.2014.	306	-167	SR	4 094	367	4 460	18	67
9.	247	17.10.2013.	112	05.05.2014.	200	-135	SR	3 856	368	4 224	19	65
10.	253	17.10.2013.	143	23.05.2014.	218	-110	SR	2 000	270	2 270	19	38
11.	274	23.08.2015.	160	31.05.2016.	282	-114	RB	4 502	492	4 995	27	67
12.	263	23.08.2015.	146	31.05.2016.	282	-117	RB	4 502	492	4 995	27	67
13.	270	27.09.2012.	154	10.04.2013.	195	-116	SR	17 880	545	18 425	0	59
14.	233	27.09.2012.	120	12.04.2013.	197	-113	SR	11 896	835	12 730	0	67
15.	153	29.08.2013.	124	02.04.2014.	216	-29	SR	11 251	851	12 101	0	67
16.	197	29.08.2013.	144	02.04.2014.	216	-53	SR	17 880	545	18 425	0	59
17.	317	05.07.2013.	272	18.03.2014.	256	-45	SR	5 084	508	5 592	0	53
18.	277	19.09.2013.	212	18.03.2014.	180	-65	SR	5 084	508	5 592	0	50
19.	233	19.09.2013.	191	18.03.2014.	180	-42	SR	4 461	142	4 603	0	58
20.	268	19.09.2013.	232	18.03.2014.	180	-36	SR	4 566	153	4 719	0	58
21.	246	19.09.2013.	215	18.03.2014.	180	-31	SR	3 652	122	3 774	0	56

22.	235	19.09.2013.	207	18.03.2014.	180	-28	SR	2 923	149	3 072	0	61
23.	308	19.09.2013.	266	18.03.2014.	180	-42	SR	1 539	267	1 806	0	57
24.	245	19.09.2013.	194	18.03.2014.	180	-51	SR	4 644	33	4 677	0	53
25.	254	02.10.2013.	197	19.03.2014.	168	-57	RB	5 084	508	5 592	0	53
26.	257	02.10.2013.	188	19.03.2014.	168	-69	RB	1 539	267	1 806	0	57
27.	322	02.10.2013.	262	19.03.2014.	168	-60	RB	3 652	122	3 774	0	56
28.	259	02.10.2013.	209	19.03.2014.	168	-50	RB	5 084	508	5 592	0	53
29.	243	02.10.2013.	187	19.03.2014.	168	-56	RB	3 652	122	3 774	0	56
30.	271	02.10.2013.	212	19.03.2014.	168	-59	RB	1 539	267	1 806	0	57
31.	272	19.09.2013.	200	18.03.2014.	180	-72	SR	4 107	137	4 244	0	58
32.	253	19.09.2013.	187	18.03.2014.	180	-66	SR	4 434	146	4 580	0	58
33.	223	02.10.2013.	174	19.03.2014.	168	-49	RB	4 107	137	4 244	0	58
34.	275	02.10.2013.	212	19.03.2014.	168	-63	RB	4 107	137	4 244	0	58
35.	239	02.10.2013.	198	19.03.2014.	168	-41	RB	4 434	146	4 580	0	58
36.	247	23.08.2013.	132	06.05.2014.	256	-115	SR	1 800	194	1 994	20	51
37.	318	23.08.2013.	164	06.05.2014.	256	-154	SR	5 865	787	6 651	21	59
38.	303	23.08.2013.	191	23.05.2014.	273	-112	SR	2 271	213	2 484	20	63
39.	266	18.09.2014.	112	21.07.2015.	306	-154	SR	3 461	255	3 716	24	59
40.	222	18.09.2014.	161	28.07.2015.	313	-61	RB	5 920	812	6 732	22	59
41.	224	18.09.2014.	160	28.07.2015.	313	-64	RB	5 920	812	6 732	22	59
42.	391	05.10.2015.	177	16.05.2016.	224	-214	SR	6 222	600	6 822	29	59
43.	358	05.10.2015.	156	16.05.2016.	224	-202	SR	3 422	244	3 666	26	59
44.	272	05.10.2015.	167	16.05.2016.	224	-105	SR	2 809	268	3 077	27	63
45.	320	05.10.2015.	129	16.05.2016.	224	-191	SR	1 863	258	2 121	26	51
46.	243	09.11.2015.	154	09.05.2016.	182	-89	RB	2 809	268	3 077	26	63
47.	259	09.11.2015.	175	09.05.2016.	182	-84	RB	2 809	268	3 077	26	63
48.	295	09.11.2015.	154	09.05.2016.	182	-141	RB	6 222	600	6 822	29	59
49.	288	09.11.2015.	149	09.05.2016.	182	-139	RB	3 422	244	3 666	26	59
50.	275	09.11.2015.	168	09.05.2016.	182	-107	RB	1 863	258	2 121	26	51

51.	261	09.11.2015.	190	09.05.2016.	182	-71	RB	3 422	244	3 666	26	59
52.	279	09.11.2015.	165	09.05.2016.	182	-114	RB	6 222	600	6 822	29	59
53.	227	09.11.2015.	152	09.05.2016.	182	-75	RB	1 863	258	2 121	26	51
54.	306	23.08.2013.	163	05.05.2014.	255	-143	SR	3 799	679	4 478	18	60
55.	330	23.08.2013.	219	23.05.2014.	273	-111	SR	615	330	945	18	60
56.	298	21.07.2015.	148	16.05.2016.	300	-150	SR	633	423	1 056	31	60
57.	266	21.07.2015.	171	16.05.2016.	300	-95	SR	4 123	756	4 879	26	60
58.	303	27.08.2015.	155	09.05.2016.	256	-148	RB	4 123	756	4 879	26	60
59.	313	27.08.2015.	170	09.05.2016.	256	-143	RB	4 123	756	4 879	26	60
60.	279	05.10.2015.	157	16.05.2016.	224	-122	SR	3 236	484	3 720	17	65
61.	227	09.11.2015.	153	09.05.2016.	182	-74	RB	633	423	1 056	31	60
62.	214	09.11.2015.	123	09.05.2016.	182	-91	RB	633	423	1 056	31	60
63.	264	29.08.2013.	157	02.04.2014.	216	-107	SR	1 166	366	1 532	0	59
64.	311	29.08.2013.	274	02.04.2014.	216	-37	SR	7 640	424	8 063	0	58
65.	187	19.06.2013.	119	02.04.2014.	287	-68	SR	9 134	430	9 564	0	55
66.	206	27.06.2014.	158	07.06.2015.	345	-48	SR	9 267	266	9 533	0	53
67.	218	27.06.2014.	162	07.06.2015.	345	-56	SR	6 140	290	6 430	0	62
68.	255	01.07.2014.	194	26.05.2015.	329	-61	RB	9 267	266	9 533	0	47
69.	247	01.07.2014.	195	26.05.2015.	329	-52	RB	1 759	76	1 835	0	50
70.	284	01.07.2014.	206	26.05.2015.	329	-78	RB	6 140	290	6 430	0	62
71.	213	01.07.2014.	169	26.05.2015.	329	-44	RB	9 267	266	9 533	0	47
72.	257	01.07.2014.	163	26.05.2015.	329	-94	RB	1 204	97	1 301	0	68
73.	313	01.07.2014.	198	26.05.2015.	329	-115	RB	6 140	290	6 430	0	62
74.	290	01.07.2014.	242	26.05.2015.	329	-48	RB	1 204	97	1 301	0	68
75.	228	01.07.2014.	162	26.05.2015.	329	-66	RB	9 270	423	9 692	0	55
76.	207	24.08.2014.	157	26.05.2015.	275	-50	RB	9 340	417	9 757	0	55
77.	247	19.06.2013.	78	04.04.2014.	289	-169	SR	977	99	1 076	39	54
78.	261	19.06.2013.	92	04.04.2014.	289	-169	SR	1 049	69	1 118	41	46
79.	354	10.07.2013.	72	02.04.2014.	266	-282	SR	2 358	523	2 880	46	66



80.	351	05.09.2013.	275	04.04.2014.	211	-76	SR	2 384	220	2 604	45	55
81.	233	31.08.2015.	175	09.06.2016.	283	-58	RB	1 850	144	1 994	44	55
82.	257	31.08.2015.	182	09.06.2016.	283	-75	RB	1 850	144	1 994	44	55
83.	205	27.08.2013.	41	06.05.2014.	252	-164	SR	2 655	563	3 218	21	54
84.	246	23.08.2013.	70	06.05.2014.	256	-176	SR	3 398	319	3 717	22	55
85.	223	19.11.2015.	90	19.06.2016.	213	-133	RB	5 442	721	6 163	27	61
86.	214	19.11.2015.	100	19.06.2016.	213	-114	RB	5 442	721	6 163	27	61
87.	228	19.11.2015.	114	19.06.2016.	213	-114	RB	3 401	325	3 726	25	55
88.	234	19.11.2015.	122	19.06.2016.	213	-112	RB	3 401	325	3 726	25	55
89.	254	27.08.2015.	111	20.04.2016.	237	-143	SR	5 442	721	6 163	27	61
90.	237	27.08.2013.	92	06.05.2014.	252	-145	SR	6 010	523	6 575	22	60
91.	232	27.08.2013.	70	06.05.2014.	252	-162	SR	5 111	349	5 460	19	52
92.	242	27.08.2013.	95	06.05.2014.	252	-147	RB	6 812	392	7 204	20	59
93.	237	27.08.2013.	101	06.05.2014.	252	-136	RB	6 812	392	7 204	20	59
94.	205	26.09.2013.	75	23.05.2014.	239	-130	SR	3 236	295	3 531	19	59
95.	176	26.09.2013.	70	05.05.2014.	221	-106	SR	2 454	343	2 797	19	56
96.	178	01.09.2015.	95	07.06.2016.	280	-83	SR	4 473	82	4 555	22	45
97.	261	01.09.2015.	117	07.06.2016.	280	-144	SR	4 340	309	4 649	23	55
98.	256	01.09.2015.	120	07.06.2016.	280	-136	SR	3 500	292	3 792	25	59
99.	272	01.09.2015.	114	07.06.2016.	280	-158	SR	3 987	187	4 174	27	54
100.	198	01.09.2015.	65	31.05.2016.	273	-133	SR	2 606	335	2 941	26	56
101.	217	01.09.2015.	95	07.06.2016.	280	-122	SR	5 072	372	5 444	21	55
102.	255	01.09.2015.	104	31.05.2016.	273	-151	RB	4 841	264	5 105	26	48
103.	248	01.09.2015.	93	31.05.2016.	273	-155	RB	4 841	264	5 105	26	48
104.	259	13.09.2013.	75	23.05.2014.	252	-184	SR	2 826	163	2 989	22	42
105.	292	01.09.2015.	86	07.06.2016.	280	-206	SR	3 230	171	3 401	26	56
106.	250	01.09.2015.	102	07.06.2016.	280	-148	SR	3 030	165	3 195	20	60
107.	259	01.09.2015.	106	07.06.2016.	280	-153	SR	2 830	158	2 988	19	42
108.	294	01.09.2015.	132	07.06.2016.	280	-162	SR	3 745	257	4 002	23	65

109.	300	01.09.2015.	116	07.06.2016.	280	-184	SR	2 945	166	3 111	29	54
110.	254	01.09.2015.	133	07.06.2016.	280	-121	RB	3 230	171	3 401	26	56
111.	261	01.09.2015.	136	07.06.2016.	280	-125	RB	3 230	171	3 401	26	56
112.	244	01.09.2015.	142	07.06.2016.	280	-102	RB	2 830	158	2 988	19	42
113.	252	01.09.2015.	139	07.06.2016.	280	-113	RB	2 830	158	2 988	19	42
114.	258	01.09.2015.	114	07.06.2016.	280	-144	RB	3 230	171	3 401	26	56
115.	247	01.09.2015.	112	07.06.2016.	280	-135	RB	3 230	171	3 401	26	56

**Prilog 2.: Podatci korišteni za izradu modela predviđanja trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku**

Rd. broj uzorka	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Pad retrorefleksije	Položaj	PGDP Ukupno	Broj prolaska ralice
1.	342	19.03.2015.	258	26.05.2016.	434	84	SR	12 778	24
2.	346	19.03.2015.	283	26.05.2016.	434	63	RB	4 721	22
3.	332	19.03.2015.	272	26.05.2016.	434	60	RB	4 721	22
4.	322	08.09.2013.	298	08.05.2014.	242	24	SR	3 941	24
5.	326	09.05.2014.	241	01.06.2015.	388	85	SR	2 326	27
6.	338	21.03.2013.	234	30.06.2014.	466	104	SR	7 544	21
7.	315	21.03.2013.	226	30.06.2014.	466	89	RB	7 544	21
8.	308	21.03.2013.	220	30.06.2014.	466	88	RB	7 544	21
9.	328	05.07.2013.	221	09.10.2014.	461	107	SR	7 364	0
10.	305	05.07.2013.	215	09.10.2014.	461	90	RB	7 364	0
11.	300	05.07.2013.	208	09.10.2014.	461	92	RB	7 364	0
12.	322	09.06.2014.	256	17.05.2015.	342	66	RB	4 839	14
13.	354	07.06.2014.	280	17.05.2015.	344	74	RB	4 839	14
14.	348	12.06.2014.	237	17.05.2015.	339	111	SR	4 839	14
15.	371	14.07.2014.	253	12.08.2015.	394	118	SR	5 632	18
16.	356	12.05.2015.	236	22.09.2016.	499	120	SR	6 949	19

17.	361	16.05.2015.	261	22.09.2016.	495	100	RB	6 949	19
18.	342	08.05.2015.	231	22.09.2016.	503	111	RB	6 949	19
19.	371	22.04.2015.	234	06.08.2016.	472	137	SR	7 560	23
20.	372	14.05.2013.	242	17.07.2014.	429	130	SR	11 004	22
21.	348	14.04.2013.	231	01.07.2014.	443	117	RB	6 583	20
22.	360	14.04.2013.	251	01.07.2014.	443	109	RB	6 583	20
23.	334	29.03.2014.	201	16.06.2015.	444	133	SR	7 810	19
24.	379	29.04.2012.	226	27.07.2013.	454	153	SR	9 383	23
25.	384	09.05.2012.	239	12.08.2013.	460	145	SR	8 366	22
26.	354	18.06.2013.	237	15.09.2014.	454	117	RB	6 903	23
27.	342	22.06.2013.	231	15.09.2014.	450	111	RB	6 903	23
28.	366	24.05.2012.	254	29.09.2013.	493	112	SR	7 522	22
29.	374	19.05.2012.	242	29.09.2013.	498	132	SR	8 404	24
30.	384	26.05.2014.	258	22.08.2015.	453	126	SR	7 341	20

**Prilog 3.: Podatci korišteni za izradu modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom**

Rd. broj uzorka	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Pad retrorefleksije	Položaj	PGDP Ukupno	Broj prolaska ralice
1.	533	18.11.2013.	498	08.05.2014.	171	35	RB	9 563	22
2.	521	18.11.2013.	499	08.05.2014.	171	22	RB	9 563	22
3.	584	15.09.2013.	310	09.04.2015.	571	274	SR	6 064	41
4.	566	15.09.2013.	306	09.04.2015.	571	260	SR	6 064	41
5.	594	15.09.2013.	397	09.04.2015.	571	197	RB	6 064	41
6.	612	15.09.2013.	443	09.04.2015.	571	169	RB	6 064	41
7.	607	15.09.2013.	367	09.04.2015.	571	240	RB	6 064	41
8.	596	15.09.2013.	436	09.04.2015.	571	160	RB	6 064	41
9.	641	15.09.2013.	591	08.04.2012.	271	50	RB	10 333	19
10.	619	12.07.2011.	554	08.04.2012.	271	65	SR	10 333	19
11.	548	12.07.2011.	481	08.04.2012.	271	67	SR	5 189	20
12.	470	12.07.2011.	401	08.04.2012.	271	69	SR	5 189	20
13.	600	09.11.2011.	568	08.04.2012.	151	32	SR	6 722	21
14.	547	09.11.2011.	504	08.04.2012.	151	43	SR	6 722	21
15.	479	28.08.2014.	378	08.09.2015.	376	101	RB	3 716	24
16.	455	28.08.2014.	361	08.09.2015.	376	94	RB	3 716	24
17.	512	28.08.2014.	374	08.09.2015.	376	138	SR	3 716	24
18.	641	14.07.2014.	582	09.04.2015.	269	59	RB	5 381	22
19.	536	14.07.2014.	418	09.04.2015.	269	118	SR	5 381	22
20.	628	14.07.2014.	563	09.04.2015.	269	65	RB	5 381	22
21.	653	22.05.2013.	512	19.07.2014.	423	141	SR	7 085	24
22.	641	18.05.2013.	524	19.07.2014.	427	117	RB	7 085	24
23.	651	28.05.2013.	529	19.07.2014.	417	122	RB	7 085	24
24.	589	22.04.2015.	432	15.07.2016.	450	157	SR	6 776	22

25.	612	08.05.2015.	444	08.09.2016.	489	168	SR	7 363	19
26.	564	24.06.2014.	459	29.07.2015.	400	105	RB	7 456	23
27.	578	18.05.2014.	435	29.07.2015.	437	143	SR	7 456	23
28.	554	16.05.2014.	378	19.09.2015.	491	176	SR	8 833	24
29.	613	13.06.2013.	467	08.10.2014.	482	146	SR	8 342	21
30.	489	11.06.2015.	368	24.06.2016.	379	121	SR	7 205	22

**Prilog 4.: Podatci korišteni za verifikaciju modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih bojom na bazi otapala**

Rd. broj	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Položaj	Aktivnost zimske službe	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Retrorefleksija modelirana (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna razlika (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna postotna razlika	Prosječno trajanje oznake u danima (100 mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječno trajanje oznake u danima (150 mcd/lx/m <sup>2</sup> )
1.	178	04.07.2012.	12.04.2013.	282	1	0	111	120,50	9,504	8,56%	429,51	69,80
2.	238	02.06.2011.	23.03.2012.	295	1	0	160	156,08	3,923	2,45%	698,43	338,72
3.	200	02.06.2011.	27.03.2012.	299	0	0	141	153,74	12,738	9,03%	685,60	325,89
4.	197	02.06.2011.	27.03.2012.	299	0	0	140	151,87	11,869	8,48%	672,16	312,45
5.	238	02.06.2011.	23.03.2012.	295	1	0	151	156,08	5,077	3,36%	698,43	338,72
6.	299	25.05.2012.	11.04.2013.	321	1	0	179	190,47	11,466	6,41%	971,83	612,12
7.	197	05.07.2013.	11.04.2013.	85	1	0	174	159,72	14,276	8,20%	514,67	154,96
8.	319	19.07.2011.	02.12.2011.	136	1	0	239	228,64	10,359	4,33%	1061,47	701,76
9.	237	19.07.2011.	15.03.2012.	240	1	0	151	163,10	12,099	8,01%	693,95	334,24
10.	270	27.09.2012.	10.04.2013.	195	1	0	172	189,91	17,913	10,41%	841,86	482,14
11.	314	18.07.2011.	15.03.2012.	241	1	0	217	210,93	6,069	2,80%	1039,06	679,35
12.	299	18.07.2011.	16.03.2012.	242	1	0	208	201,45	6,553	3,15%	971,83	612,12
13.	280	18.07.2011.	16.03.2012.	242	1	0	180	189,61	9,61	5,34%	886,68	526,96
14.	301	23.08.2015.	06.05.2014.	474	1	21	138	125,40	12,6	9,13%	656,73	297,02
15.	389	02.09.2016.	19.04.2017.	229	1	22	224	212,13	11,866	5,30%	1035,72	676,01
16.	267	12.10.2016.	19.04.2017.	189	0	22	175	163,58	11,421	6,53%	646,40	286,69
17.	276	24.10.2016.	19.04.2017.	177	0	22	184	170,85	13,146	7,14%	686,74	327,03

18.	249	12.10.2016.	19.04.2017.	189	0	20	149	156,66	7,655	5,14%	596,59	236,88
19.	251	12.10.2016.	19.04.2017.	189	0	20	145	157,90	12,901	8,90%	605,55	245,84
20.	358	18.8.2015	18.5.2016	274	1	24	184	182,28	1,724	0,94%	865,91	506,20
21.	305	15.7.2011	4.5.2012	294	0	16	196	185,53	10,472	5,34%	909,31	549,60
22.	268	15.7.2011	4.5.2012	294	0	16	179	162,48	16,523	9,23%	743,47	383,76
23.	248	19.11.2015	23.5.2016	186	0	17	181	162,88	18,116	10,01%	638,40	278,69
24.	226	19.11.2015	23.5.2016	186	0	17	167	149,18	17,822	10,67%	539,80	180,09
25.	236	19.11.2015	1.6.2016	195	0	19	164	149,87	14,133	8,62%	553,76	194,04
26.	226	19.11.2015	1.6.2016	195	0	19	156	143,64	12,363	7,93%	508,94	149,22
27.	349	21.7.2011	9.5.2012	293	0	17	224	210,93	13,066	5,83%	1091,09	731,37
28.	269	20.8.2012	15.5.2013	268	1	19	142	138,39	3,612	2,54%	544,17	184,46
29.	318	30.8.2012	2.5.2013	245	0	19	194	194,00	0,003	0,00%	921,28	561,57
30.	313	30.8.2012	2.5.2013	245	0	19	194	190,89	3,112	1,60%	898,87	539,16

**Prilog 5.: Podatci korišteni za verifikaciju modela predviđanja trajanja termoplastičnih oznaka na kolniku**

Rd. broj	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Retrorefleksija modelirana (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna razlika (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna postotna razlika	Prosječno trajanje oznake u danima (100 mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječno trajanje oznake u danima (150 mcd/lx/m <sup>2</sup> )
1.	408	25.4.2013	26.6.2014	427	315	266,37	48,63	15,44%	1137,98	924,31
2.	386	26.5.2013	19.9.2014	481	286	246,12	39,88	13,94%	1105,45	891,78
3.	377	21.6.2015	13.10.2016	480	269	243,24	25,76	9,58%	1092,15	878,47
4.	345	12.4.2014	19.6.2015	433	282	243,17	38,83	13,77%	1044,83	831,15
5.	412	18.4.2014	19.6.2015	427	289	267,75	21,25	7,35%	1143,90	930,22
6.	379	17.5.2013	22.6.2014	401	317	262,42	54,58	17,22%	1095,10	881,43
7.	391	16.5.2016	10.7.2017	420	304	262,13	41,87	13,77%	1112,85	899,17
8.	386	17.7.2015	13.10.2016	454	288	252,44	35,56	12,35%	1105,45	891,78
9.	366	12.5.2012	19.7.2013	433	296	250,43	45,57	15,39%	1075,88	862,21
10.	358	13.6.2015	13.10.2016	488	266	234,80	31,20	11,73%	1064,05	850,38

**Prilog 6.: Podatci korišteni za verifikaciju modela predviđanja trajanja oznaka na kolniku izvedenih hladnom strukturiranom plastikom**

Rd. broj	Inicijalna retrorefleksija (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Datum mjerenja početne retrorefleksije	Datum mjerenja postojeće oznake	Starost	Položaj	Aktivnost zimske službe	Retrorefleksija postojeće oznake (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Retrorefleksija modelirana (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna razlika (mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Apsolutna postotna razlika	Prosječno trajanje oznake u danima (100 mcd/lx/m <sup>2</sup> )	Prosječno trajanje oznake u danima (150 mcd/lx/m <sup>2</sup> )
1.	684	22.4.2013	26.9.2014	522	1	26	597	497,729	99,271	16,63%	1674,84	1529,91
2.	695	12.4.2013	26.9.2014	532	0	23	603	548,603	54,397	9,02%	1832,30	1687,37
3.	587	18.5.2015	8.10.2016	509	1	26	451	404,535	46,465	10,30%	1391,71	1246,78
4.	596	19.4.2015	8.10.2016	538	0	25	507	441,77	65,23	12,87%	1528,64	1383,71
5.	624	15.6.2015	27.9.2016	470	0	25	561	493,426	67,574	12,05%	1610,37	1465,44
6.	633	22.4.2014	17.6.2015	421	1	22	576	491,357	84,643	14,69%	1555,37	1410,44
7.	654	19.4.2014	17.6.2015	424	0	20	603	552,181	50,819	8,43%	1734,67	1589,74
8.	572	22.6.2013	13.9.2014	448	1	27	454	407,94	46,06	10,15%	1340,58	1195,65
9.	608	14.5.2016	12.7.2017	424	1	23	527	462,612	64,388	12,22%	1475,05	1330,12
10.	664	13.5.2014	15.7.2015	428	1	19	592	527,764	64,236	10,85%	1667,90	1522,97

## ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA AUTORA



Dario Babić rođen je 27. kolovoza 1987. godine u Zagrebu u Republici Hrvatskoj. Osnovnu je školu završio u Zagrebu, a 2006. godine maturirao je s odličnim uspjehom u srednjoj elektrotehničkoj školi „Ruđer Bošković” u Zagrebu. Godine 2006. upisuje Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu gdje je na preddiplomskom studiju diplomirao s odličnim uspjehom u rujnu 2009. godine. Iste godine počinje pohađati i diplomski studij na Fakultetu prometnih znanosti, na kojem je diplomirao s izvrsnim uspjehom u rujnu 2011. godine te time stekao zvanje magistra inženjera prometa. Tijekom preddiplomskoga i diplomskoga studija dobivao je državnu stipendiju Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta kao najbolji student svoje generacije te je, također, za postignuti uspjeh tijekom studija dobio priznanja Fakulteta prometnih znanosti. Godine 2011. upisuje poslijediplomski studij (polje: Tehnologija prometa i transport) na Fakultetu prometnih znanosti te 24. siječnja 2018. uspješno brani doktorsku disertaciju pod nazivom „Model predviđanja trajanja oznaka na kolniku”.

Od listopada 2011. zaposlen je kao stručni suradnik u Zavodu za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Od 1. svibnja 2012. zaposlen je na mjestu znanstvenoga novaka pri Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu gdje aktivno sudjeluje u projektima Zavoda za prometnu signalizaciju. Autor je niza znanstvenih radova koji su objavljeni u međunarodnim znanstvenim časopisima te predstavljeni na međunarodnim znanstvenim konferencijama. Također, u sklopu *Erasmus* programa, boravio je kao gost predavač na nekoliko međunarodnih sveučilišta (*University of Pardubice – Češka, Jyväskylä University of Applied Sciences – Finska, Vilnius Gediminas Technical University – Litva*) te je u periodu od 23. siječnja do 23. travnja 2017. godine boravio na Fakultetu za logistiku Univerziteta u Mariboru u okviru projekta „Povezivanje fakulteta iz područja logistike s ciljem poboljšanja konkurentnosti prijave projekata u okvirnim programima EU”.

Član je Hrvatske komore inženjera tehnologije prometa i transporta, Tehničkoga odbora DZNM/TO 509: Cestovna oprema te Hrvatske udruge diplomiranih inženjera i inženjera Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

Aktivno se koristi engleskim jezikom u govoru i u pismu te pasivno njemačkim jezikom, također u govoru i u pismu. U svojem radu aktivno se koristi računalom.



## POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Babić, D., Ščukanec, A., Babić, D. 2017. Determining the Impact of Directionality on Road Markings Retroreflectivity Using Dynamic Method. *Transport*. (On-line izdanje)
2. Babić, D., Babić, D., Macura, D. 2017. Model for Predicting Traffic Signs Functional Service Life - The Republic of Croatia Case Study. *Promet - Traffic and Transportation*, 29(3):343-349.
3. Babić, D., Fiolić, M., Žilioniene, D. 2017. Evaluation of Static and Dynamic Method for Measuring Retroreflection of Road Markings. *Građevinar*, 69(10):907-914.
4. Babić, D., Babić, D., Ščukanec, A. 2017. The Impact of Road Familiarity on the Perception of Traffic Signs – Eye Tracking Case Study. *The Proceedings of the 10th International Conference: "Environmental Engineering"*, Vilnius, Lithuania, p. 1-7.
5. Burghardt, T. E., Ščukanec, A., Babić, D., Babić, D. 2017. Durability of Waterborne Road Marking Systems with Various Glass Beads. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: "New Solutions And Innovations In Logistics And Transportation"*, Zagreb, Croatia, p. 51-58.
6. Babić, D., Ščukanec, A., Babić, D. 2016. Determining the Correlation Between Daytime and Night-time Road Markings Visibility. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 11(4):283-290.
7. Babić, D., Ščukanec, A., Fiolić, M. 2016. Predicting State of Traffic Signs Using Logistic Regression. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 6(3):280-288.
8. Babić, D., Novačko, L., Ščukanec, A. 2016. Observing the Impact of Variable Speed Limit Signs on the Traffic Flow. *The Proceedings of the First International Conference: Transport for Today's Society*, Bitola, Macedonia, p. 63-71.
9. Mitrović, A., Ščukanec, A., Babić, D. 2016. Impact of Winter Maintenance on Retroreflection of Road Markings. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows“*, Zagreb, Croatia, p. 119-127.
10. Babić, D., Burghardt, T. E., Babić, D. 2015. Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2):150-169.

11. Bajor, I., Rihtarić, M., Babić, D. 2016. Warehouse Process Optimization – Case Study. *The Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transport Engineering*, Belgrade, Serbia, p. 1036-1043.
12. Burghardt, T. E., Babić, D., Babić, D. 2016. Application of Waterborne Road Marking Paint in Croatia: Two Years of Road Exposure. *The Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transport Engineering*, Belgrade, Serbia, p. 1092-1096.
13. Babić, D., Ščukanec, A., Krleža, J. 2015. The Possibilities for Improving Safety on Croatian State Roads D3 and D29 with the Analysis of the Traffic Signs Quality. *The Proceedings of the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Cooperation Model of the Scientific and Educational Institutions and the Economy“*, Zagreb, Croatia, p. 9-18.
14. Babić, D., Ščukanec, A., Fiolić, M. 2014. Traffic Sign Analysis as a Function of Traffic Safety on Croatian State Road D3. *The Proceedings of the Second International Conference on Traffic and Transport Engineering*, Belgrade, Serbia, p. 275-283.
15. Bajor, I., Babić, D. 2014. Reverse Logistics Retail Level Return. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 4(2):161-170.
16. Babić, D., Ščukanec, M., Krleža, J. 2014. Possibilities of Improving Mobility Through Implementation of Functional Bicycle Network in the City of Zagreb. *The Proceedings of the International Scientific Conference ZIRP 2014: "Development Possibilities of Croatian Transport System - Anniversary of EU Membership"*, Zagreb, Croatia, p. 1-8.
17. Ščukanec, A., Babić, D., Sokol, H. 2013. Methodology for Measuring Traffic Signs Retroreflection. *The Proceedings of the First International Scientific Forum*, Tirana, Albania, p. 134-141.
18. Babić, D., Ščukanec, M., Fiolić, M. 2013. Analysis of Road Markings Retroreflection on Croatian State Roads. *The Proceedings of the International Scientific Conference ZIRP 2013: „Planning and Development of Sustainable Transport System“*, Zagreb, Croatia, p. 25-30.
19. Bajor, I., Babić, D., Ivaković Babić, M. 2012. Sustainability Through Greening and Reversing the Supply Chain. *Scientific Journal on Transport and Logistics*, 2(3):7-13.
20. Bajor, I., Babić, D., Kolarić, G. 2012. Sustainability When Developing Return Centers. *The Proceedings of the International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE 2012*, Belgrade, Serbia, p. 425-430.

21. Fiolić, M., Babić, D., Ščukanec, M. 2012. Analysis of the Methods for Testing the Quality of Road Markings. *The Proceedings of the International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE 2012*, Belgrade, Serbia, p. 539-544.
22. Rogić, K., Babić, D., Bajor, I. 2012. Analysis of Reverse Logistics on the Croatian Market. *The Proceedings of the the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Development of Logistics Business and Transport System Supported by EU Funds“*, Zagreb, Croatia, p. 200-207.
23. Ščukanec, A., Fiolić M., Babić, D. 2012. Analysis of Retroreflectivity of Paint and Plastic Road Markings on Croatian State Road D1. *The Proceedings of the the International Conference on Traffic Development, Logistics & Sustainable Transport: „Development of Logistics Business and Transport System Supported by EU Funds“*, Zagreb, Croatia, p. 341-350.
24. Babić, D., Babić, D., Rožić, T. 2010. Conceptual Solutions in the Reverse Logistics Processes. *The Proceedings of the 7th Russian Scientific and Technical Conference "Polytransport Systems"*, Krasnoyarsk, Russia, p. 27-33.