

Primljen / Received: 8.2.2017.
Ispravljen / Corrected: 11.5.2017.
Prihvaćen / Accepted: 30.6.2017.

Dostupno online / Available online: 10.11.2017.

Vrednovanje statičke i dinamičke metode ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku

Autori:



Dario Babić, mag.ing.traff.
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
dario.babic@fpz.hr



Mario Fiolić mag.ing.traff.
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
mario.fiolic@fpz.hr



Izv.prof.dr.sc. **Daiva Žilioniene**, dipl.ing.grad.
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas
Fakultet okolišnog inženjerstva
Litva
daiva.zilioniene@vgtu.lt

Prethodno priopćenje

Dario Babić, Mario Fiolić, Daiva Žilioniene

Vrednovanje statičke i dinamičke metode ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku

Neodgovarajuće i slabo održavane oznake na kolniku smatraju se bitnim faktorom koji pridonosi nastanku prometnih nesreća. Upravo je zato nužno periodički ocjenjivati stanje oznaka, što podrazumijeva provođenje nekoliko različitih ispitivanja među kojima je najznačajnije ispitivanje koeficijenta retrorefleksije primjenom statičke ili dinamičke metode. Rezultati istraživanja pokazali su da dinamička mjerna metoda daje cjelovitije i objektivnije rezultate kvalitete oznaka, dok je statička metoda zbog svojih ograničenja u određenoj mjeri nepouzdana.

Ključne riječi:

oznake na kolniku, statičko i dinamičko ispitivanje, retrorefleksija, cestovna sigurnost

Preliminary note

Dario Babić, Mario Fiolić, Daiva Žilioniene

Evaluation of static and dynamic method for measuring retroreflection of road markings

Inadequate and poorly maintained road markings significantly contribute to the occurrence of traffic accidents. Consequently, it is necessary to periodically evaluate the state of road markings by conducting several tests, the most important being the coefficient of retroreflection as determined using the static or dynamic test method. The results of the research conducted in this study show that the dynamic test method provides complete and objective results regarding the quality of road markings, while the static method is somewhat unreliable due to its limitations.

Key words:

road markings, static and dynamic measurement, retroreflection, road safety

Vorherige Mitteilung

Dario Babić, Mario Fiolić, Daiva Žilioniene

Bewertung der statischen und dynamischen Methode zur Prüfung der Nachsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen

Unangemessene und schlecht instand gehaltene Fahrbahnmarkierungen werden als ein bedeutender Faktor angesehen, der zur Entstehung von Verkehrsunfällen beiträgt. Daher ist es sehr wichtig, den Zustand der Markierungen periodisch zu prüfen, was eine Reihe von Untersuchungen umfasst; dabei ist die wichtigste Untersuchung die Prüfung des Koeffizienten der Nachsichtbarkeit anhand der statischen oder dynamischen Methode. Die Ergebnisse der Untersuchung in dieser Arbeit zeigen, dass die dynamische Messmethode umfassendere und objektivere Ergebnisse der Qualität der Markierungen gibt und dass die statische Methode infolge ihrer Einschränkungen teilweise unzuverlässig ist.

Schlüsselwörter:

Fahrbahnmarkierungen, statische und dynamische Prüfung, Nachsichtbarkeit, Sicherheit des Straßenverkehrs

1. Uvod

Oznake na kolniku čine važnu sastavnicu suvremenih prometnica te se kao takve postavljaju samostalno ili u kombinaciji s prometnim znakovima i ostalom svjetlosnom signalizacijom i sastavni su dio cjelokupnog građevinskog projekta. Prilikom izgradnje nove ili rekonstrukcije postojeće ceste, zbog njihove važnosti za cjelokupnu prometnu sigurnost, oznake na kolniku predstavljaju važan element za dobivanje uporabne dozvole.

Općenito, oznake se mogu definirati kao skup longitudinalnih i transverzalnih linija, znakova i simbola na površini prometne infrastrukture. Njihova je zadaća upozoravanje i informiranje vozača o stanju na cesti i o njenim konstrukcijskim karakteristikama, kao i vožnja korisnika ceste te upravljanje prometnim tokom na siguran način [1]. Budući da je vožnja kompleksna zadaća tijekom koje se 90 % odluka temelji na vizualnim informacijama [2], kontinuiranost oznaka duž cijele duljine ceste predstavlja najvažniju značajku procesa orijentiranja vozača, odnosno percepcije cjelokupne situacije na cesti.

Tijekom dana, vozači percipiraju oznake uglavnom kroz kontrast boje između oznake i površine ceste. Tijekom noći te u uvjetima smanjene vidljivosti uočljivost oznaka je funkcija svjetlosnog kontrasta između oznake i površine kolnika što je općenito utvrđeno koeficijentom njihove retrorefleksije [3].

Budući da se zahtjevi za vidljivošću oznaka povećavaju s rastućim udjelom starijih vozača na cestama, u pogledu tolerancija koje zadovoljavaju pogoršanje percepcije svjetlosti i dulje vrijeme reagiranja kod starijih osoba na važne vizualne informacije [4], oznake na kolniku moraju se periodički ispitivati kako bi se osigurala zadovoljavajuća razina vidljivosti. Općenito, retrorefleksija oznaka na kolniku tijekom vremena degradira pod utjecajem niza faktora, prema [5]:

- vrste materijala
- pozicije oznake na kolniku (rubna ili središnja)
- starosti oznake
- prosječnog godišnjeg dnevnog prometa (PGDP)
- vrste ceste
- broju oznaka (linija) na kolniku
- vrste površinskog sloja na kolniku
- ograničenju brzine
- količine soli
- količine abrazivnih čestica
- učestalosti aktivnosti zimske službe.

Uz navedeno, znanstvena istraživanja [3, 6] pokazuju kako su staklene perle također važan faktor čija kvaliteta i kvantiteta neposredno utječu na retrorefleksiju oznaka na kolniku. Kvaliteta staklenih perli ovisi o njihovoj granulaciji i sastavu, indeksu loma, okruglosti te kemijskom premazu koji osigurava čvršće povezivanje perli s materijalom od kojeg je oznaka izvedena.

Ispitivanja kvalitete oznaka na kolniku podrazumijevaju provođenje nekoliko testova (otpornost na klizanje, debljina

suhog i mokrog filma itd.) među kojima najznačajniju ulogu imaju ispitivanja vidljivosti, odnosno retrorefleksije oznaka.

Ispitivanje retrorefleksije oznaka provodi se primjenom statičke ili dinamičke metode ispitivanja. Iako se statička metoda u usporedbi s dinamičkom češće primjenjuje zbog niže cijene potrebne opreme, ima nekoliko nedostataka. Glavni nedostaci statičke metode vezani su uz dugotrajnost samog procesa ispitivanja, veće ometanje odvijanja prometa, potencijalnu opasnost za samog ispitivača jer se ispitivanja provode na otvorenoj cesti, te relativno malo mjerno područje statičkih retroreflektometara što zahtijeva veći broj mjernih odsječaka kako bi se dobili sustavni rezultati duž cijele dionice ceste. Zbog malog mjernog područja statičkih retroreflektometara oni ne mjere retrorefleksiju na cijeloj širini i dužini oznake, pa može doći do pogrešnog vrednovanja oznake. Naime, pomicanjem statičkog uređaja za samo centimetar u bilo kojem smjeru na oznaci može uzrokovati značajno različita mjerenja. Također, iskusni ispitivač može pronaći mjesta s dobrom ili lošom retrorefleksijom te na taj način direktno utjecati na rezultate mjerenja, a time i na konačnu ocjenu kvalitete oznake.

S druge strane, dinamička metoda ispitivanja ima veće početne troškove (nabava opreme) te veće troškove same izvedbe ispitivanja, ali omogućava mjerenje vidljivosti duž cijele dionice ceste na način da uređaj mjeri retrorefleksiju kontinuirano tijekom vožnje, što u konačnici osigurava cjelovitije i objektivnije ocjenjivanje kvalitete oznaka.

Kako obje navedene metode imaju svoje prednosti i nedostatke, cilj je ovog rada napraviti detaljnu usporednu analizu rezultata mjerenja retrorefleksije provedenog na državnim cestama u Republici Hrvatskoj primjenom obje metode ispitivanja.

2. Prethodna istraživanja vezana uz retrorefleksiju oznaka na kolniku

Istraživačka aktivnost vezana uz oznake na kolniku u najvećoj se mjeri odnosi na istraživanje retrorefleksije jer je ona direktno vezana uz percepciju oznaka te cjelokupnu sigurnost prometa. Terenskim istraživanjem provedenim na 65 ispitanika u dobi od 20 do 89 godina, Graham i dr. [7] proučavali su subjektivne razine retrorefleksije potrebne za starije vozače. Rezultati su pokazali da je više od 85 % ispitanika starijih od 60 godina ocijenilo retrorefleksiju od 100 mcd/lx/m² kao minimalnu odnosno dovoljnu.

Autori Zwahlen i Schnell [8] proveli su istraživanje čiji je cilj bio testirati i potvrditi hipotezu da vozači prilagođavaju svoje prostorno skeniranje i brzinu vožnje u funkciji s vidljivošću oznaka na kolniku. Rezultat studije predstavlja potvrdu navedene hipoteze te prijedlog minimalnih razina retrorefleksije u skladu s dopuštenom brzinom na cesti.

Tijekom godina provedeno je niz sličnih istraživanja [9-11] kako bi se odredile minimalne subjektivne razine retrorefleksije za vozače u suhim uvjetima. Ta su istraživanja rezultirala su predloženim minimalnim vrijednostima retrorefleksije od 120, 150 i 130-140 mcd/lx/m².

Osim određivanja minimalnih razina vidljivosti potrebnih vozačima, istraživačke aktivnosti su također bile usmjerene na modeliranje degradacije retrorefleksije, odnosno na modeliranje trajnosti oznaka. Tijekom posljednja dva desetljeća različiti autori razvili su niz modela [12-15] za predviđanje trajnosti oznaka na kolniku čiji je cilj, u praktičnoj primjeni, optimizirati procese održavanja oznaka.

Iz svega je vidljivo da znanstvena istraživanja nisu bila usmjerena prema rješavanju određenih problema vezanih uz metodologiju ispitivanja koja direktno ima utjecaj na konačno vrednovanje oznake, a time i na aktivnosti njenog održavanja kao i razinu sigurnosti na cestama. Naime, dokazano je kako prisutnost oznaka smanjuje broj nesreća za 20 % [16], a nesreća u kojima je sudjelovalo jedno vozilo za 34 % [17].

Glavna je svrha ovog rada upravo analizom metoda ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku pružiti nove spoznaje koje će unaprijediti metodologiju ocjenjivanja kvalitete oznaka.

3. Metodologija ispitivanja i ocjenjivanje retrorefleksije oznaka na kolniku

Glavni cilj ispitivanja oznaka na kolniku usmjeren je na povećanje njihove kvalitete i trajnosti, a time i opće sigurnosti na cestama uz optimiziranje troškova izvođenja i održavanje. U RH, prema tehničkim uvjetima Hrvatskih cesta d.o.o. [20], ispitivanja koja se provode s ciljem osiguranja propisane kvalitete oznaka na kolniku jesu:

- prethodna ili ispitivanja pogodnosti
- tekuća
- kontrolna
- dodatna kontrolna ispitivanja
- arbitražna
- ispitivanja prije isteka jamstva.

Prethodna ili ispitivanja pogodnosti uključuju ispitivanje s ciljem dokazivanja prikladnosti, odnosno zadovoljavanja materijala namijenjenog za izvođenje obilježavanja ceste, na temelju planirane vrste oznake i njene kvalitete.

Tekuća ispitivanja provodi izviđač radova radi utvrđivanja propisane kvalitete i performansi materijala. Ta ispitivanja podrazumijevaju ispitivanje debljine suhog i mokrog sloja boje, ispitivanje dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, ispitivanje noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake tipa II, oznake tipa II su oznake na kolniku s posebnim značajkama namijenjene povećavanju retrorefleksije u mokrim ili kišnim uvjetima) te ispitivanje otpornosti na klizanje.

Kontrolna ispitivanja uvjetuje naručitelj radi provjere zadovoljava li kvaliteta oznaka propisane uvjete. To mogu biti:

- kontrolna ispitivanja prije samog iscrtaavanja oznake koja uključuju identifikaciju, odnosno provjeru usklađenosti (kemijska i fizikalna ispitivanja) između isporučenih uzoraka materijala oznake i podataka prikazanih u potvrdi
- kontrolna ispitivanja prilikom nanošenja oznaka na kolniku, što uključuje mjerenje vremena sušenja, debljinu mokrog i suhog sloja oznake, količine retroreflektirajućeg materijala

(staklene perle) u materijalu oznake te vizualno ispitivanje oznake na kolniku

- kontrolna ispitivanja nanese oznake, što uključuje ispitivanje dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, ispitivanje noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake tipa II) te ispitivanje otpornosti na klizanje, kao i ispitivanje geometrije oznaka na kolniku u smislu projektirane širine i duljine oznaka.

Dodatna kontrolna ispitivanja provode se samo ako su kontrolna ispitivanja na primijenjenim cestovnim oznakama rezultirala graničnim vrijednostima.

Arbitražna ispitivanja uključuju ponavljanja kontrolnih ispitivanja u slučaju opravdane sumnje naručitelja ili izvođača da kontrolna ispitivanja nisu provedena na odgovarajući način. Arbitražna ispitivanja provodi ovlaštena pravna osoba koja nije sudjelovala u spornim ispitivanjima ili koja je odobrena od obje strane.

Ispitivanja prije isteka jamstva provodi naručitelj radi utvrđivanja kvalitete nanesenih oznaka te njihove usklađenosti s kvalitetom dogovorenim za trajanje jamstvenog razdoblja. Ispitivanja se provode barem četiri tjedna prije isteka jamstva te uključuju ispitivanje dnevne i noćne vidljivosti u suhim uvjetima, ispitivanje noćne vidljivosti u mokrim uvjetima (samo za oznake tipa II) te ispitivanje otpornosti na klizanje.

Najvažnija ispitivanja kvalitete oznaka jesu ispitivanja dnevne i noćne vidljivosti oznaka. Ispitivanja se mogu, kao što je već navedeno, obavljati na dva načina:

- metodom statičkog ispitivanja vidljivosti oznaka na kolniku (dnevna i noćna vidljivost)
- metodom dinamičkog ispitivanja vidljivosti oznaka na kolniku (noćna vidljivost).

Dnevna vidljivost (Q_d) predstavlja vidljivost oznake promatrane pod kutom od $2,29^\circ$ na udaljenosti od 30 m pri difuznom osvjetljenju, a noćna vidljivost ili retrorefleksija (R_L) predstavlja retrorefleksiju svjetleće zrake od ispitane površine pod kutom od $2,29^\circ$, kutom ulaznog svjetla od $1,24^\circ$ i pri udaljenosti 30 m kod kratkih svjetala vozila [19].

U Hrvatskoj su statička ispitivanja provedena u skladu s njemačkom ZTV M02 metodom koju je nedavno opisao Babić i dr. u [20]. Prema ZTV M02, opseg ispitivanja ovisi o tome koliko dnevno radna grupa izvede oznaka, kao što je prikazano u tablici 1., a ispitni se odsječci biraju prema načelu slučajnosti. Unutar svakog ispitnog odsjeka bira se pet mjernih točaka. Kod punih uzdužnih oznaka mjerne točke se raspoređuju na 100 m duljine u jednakim razmacima (početak, 25 m, 50 m, 75 m i završetak), a kod isprekidanih uzdužnih oznaka mjerne točke se raspoređuju na sredini svake druge pune linije. Od pet izmjerenih vrijednosti oblikuje se aritmetička sredina koja predstavlja relevantnu vrijednost retrorefleksije oznake.

Kod izvođenja statičkog ispitivanja, dnevna i noćna vidljivost oznaka na kolniku mjeri se pomoću ručnog retroreflektometra koji je prikazan na slici 1.

Tablica 1. Način određivanja ispitnih odsječaka [20]

Duljina uzdužnih oznaka izvedenih u jednom danu [km]	Broj ispitnih odsječaka
< 1	1
1 do 5	2
> 5 do 10	3
> 10	4



Slika 1. Mjerenje vidljivosti (dnevna i noćna) oznaka na kolniku pomoću statičkog retroreflektometra [21]

Dinamička metoda ispitivanja retrorefleksije odnosi se na mjerenje noćne vidljivosti oznaka na kolniku dinamičkim mjernim uređajem u cijeloj dužini izvedene oznake (slika 2.). Dinamički retroreflektometar postavlja se na mjereno vozilo s desne ili lijeve strane, ovisno o poziciji oznake, a mjerenje se obavlja tako da se mjereno vozilo kreće po kolniku i kontinuirano očitava koeficijent retrorefleksije oznaka. Najveća je prednost ove metode u tome što se oznake ispituju u cijeloj svojoj dužini te uređaj ovisno o mjernom intervalu daje prosječne vrijednosti retrorefleksije pojedinog intervala.



Slika 2. Dinamičko mjerenje noćne vidljivosti oznaka na kolniku

Prema tehničkim zahtjevima Hrvatskih cesta d.o.o., vrijednosti retrorefleksije za oznake tipa I, dobiveni primjenom bilo koje od

navedenih metoda, moraju zadovoljavati minimalne propisane vrijednosti navedene u tablicama 2. i 3., ovisno o stanju oznake (stanje oznake može biti: "obnovljena" za nove oznake i "postojeća" za oznake u funkciji). Oznake tipa II u ovom radu nisu obuhvaćene, pa nisu ni njihove minimalne vrijednosti prikazane. Ako su rezultati ispitivanja iznad vrijednosnih intervala navedenih u tablicama, oznaka je zadovoljila, u suprotnom oznaka ne zadovoljava. Ako su rezultati ispitivanja unutar vrijednosnih intervala, nastavlja se drugi stupanj ocjenjivanja. U drugom stupnju bira se daljnjih 15 ispitnih točaka za ocjenu vidljivosti te se iz izmjerenih vrijednosti svih ispitnih točaka u prvom i u drugom stupnju ocjenjivanja izračunava aritmetička sredina. Ako je jednaka ili veća od najmanjeg zahtjeva navedenog u tablicama 2. i 3., oznaka se prihvaća.

Tablica 2. Minimalne vrijednosti retrorefleksije za obnovljene linije tipa I [20]

Vidljivost i stanje kolnika	Minimalna vrijednost [mcd/lx/m ²]	Interval [mcd/lx/m ²]
Noćna vidljivost, suhi kolnik	$R_L \geq 200$	$180 \leq R_L \leq 220$
Dnevna vidljivost, suhi kolnik	$Q_d \geq 130$	$110 \leq Q_d \leq 150$

Tablica 3. Minimalne vrijednosti retrorefleksije za postojeće linije tipa I [20]

Vidljivost i stanje kolnika	Minimalna vrijednost [mcd/lx/m ²]	Interval [mcd/lx/m ²]
Noćna vidljivost, suhi kolnik	$R_L \geq 100$	$90 \leq R_L \leq 110$
Dnevna vidljivost, suhi kolnik	$Q_d \geq 100$	$90 \leq Q_d \leq 110$

4. Analiza rezultata ispitivanja oznaka na kolniku statičkom i dinamičkom metodom

U svrhu ovog istraživanja korišteni su podaci o retrorefleksiji (noćnoj vidljivosti) oznaka na kolniku na osnovi ispitivanja provedenih 2015. godine u Zavodu za prometnu signalizaciju, na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Podaci o retrorefleksiji središnjih linija prikupljeni su na pet državnih cesta primjenom statičke i dinamičke metode ispitivanja (tablica 4.). Oznake su mjerene dinamičkom metodom, a na određenim lokacijama, u skladu s metodologijom ZTV M02, provedena su statička mjerenja. Ceste su ispitivane između 30. i 60. dana od izvođenja oznaka u skladu sa Smjernicama i tehničkim zahtjevima za izvođenje radova na obnavljanju oznaka na kolniku [20]. Za dinamičko ispitivanje korišten je Zehntner ZDR 6020 dinamički retroreflektor, a za statičko ispitivanje statički retroreflektor istog proizvođača ZRM 6013+. Oba su uređaja prije mjerenja kalibrirana prema uputama proizvođača.

Tablica 4. Prikaz cesta obuhvaćenih u istraživanju te duljina i broj mjernih odsječaka

Cesta	Duljina dinamičkih mjerenja [km]	Broj mjernih odsječaka obuhvaćenih statičkom metodom
DC28	10,60	4
DC503	16,00	4
DC54	13,25	4
DC207	14,30	4
DC38	20,00	4

Prije same analize metodologija trebalo je utvrditi kako je razlika između mjerenja dobivenih statičkom metodom i onih dobivenih dinamičkom metodom na istim lokacijama zanemariva te ne utječe na konačnu ocjenu kvalitete oznake. Rezultati navedenih mjerenja prikazani su u tablici 5.

Da bi se statistički ispitala razlika između rezultata mjerenja prikazanih u tablici 6., proveden je t-test (Two-Sample Assuming Equal Variances). Provedbom Kolmogorov-Smirnovog testa zaključeno je da su podaci normalno distribuirani, a F-testom da su varijacije jednake čime su zadovoljeni preduvjeti za provođenje t-testa.

Iz rezultata t-testa vidljivo je da aritmetička sredina mjerenja dobivenih statičkom metodom iznosi 235,30 mcd/lx/m², a onih

dobivenih dinamičkom metodom 219,05 mcd/lx/m², odnosno da statistički značajne razlike između ta dva rezultata nema (tablica 6.).

Tablica 6. Rezultati t-testa

Parametri	R _L _static	R _L _dynamic
Ar. sredina	235,30	219,05
Varijacije	3321,66	3195,27
Broj uzoraka	19	19
t Stat	0,861080821	
P(T < = t) two-tail	0,394892605	
t Criticaltwo-tail	2,028094001	

Male razlike između dobivenih mjerenja, kao što je spomenuto, samo su unutar pogreške uređaja te su dokaz točnosti obiju metoda, a time se isključila mogućnost da pogreška određenog retroreflektometra utječe na konačnu analizu metodologija.

Kao što je navedeno, istraživanje je obuhvatilo pet državnih cesta u RH, a ispitivanja retrorefleksije statičkom i dinamičkom metodom obavljena su isti dan. Rezultati dobiveni dinamičkom metodom podijeljeni su u pet vrijednosnih intervala, kao što je prikazano u tablici 7. Za svaki interval prikazana je izmjerena duljina ceste koja pripada pojedinom intervalu te postotni udio

Tablica 5. Mjerenja retrorefleksije (noćne vidljivosti) statičkom i dinamičkom metodom na istim lokacijama pojedinih cesta

Cesta	Stacionaža	Retrorefleksija R _L : statička metoda [mcd/lx/m ²]	Retrorefleksija R _L : dinamička metoda [mcd/lx/m ²]	Postotna razlika
DC28	1+000	241	229	4,98 %
	3+000	250	231	7,60 %
	7+000	210	189	10,00 %
	9+000	198	185	6,57 %
DC503	2+000	222	202	9,01 %
	4+000	220	194	11,82 %
	8+000	234	218	6,84 %
	10+000	230	217	5,65 %
DC54	2+000	225	204	9,33 %
	7+000	226	211	6,64 %
	10+000	224	204	8,93 %
	12+000	221	212	4,07 %
DC207	1+000	349	336	3,72 %
	5+000	325	310	4,62 %
	9+000	298	280	6,04 %
	13+000	338	313	7,40 %
DC38	3+000	122	105	13,93 %
	9+500	170	162	4,71 %
	15+000	231	225	2,60 %
	18+000	172	164	4,65 %

Tablica 7. Usporedba rezultata mjerenja retrorefleksije dinamičkom i statičkom metodom

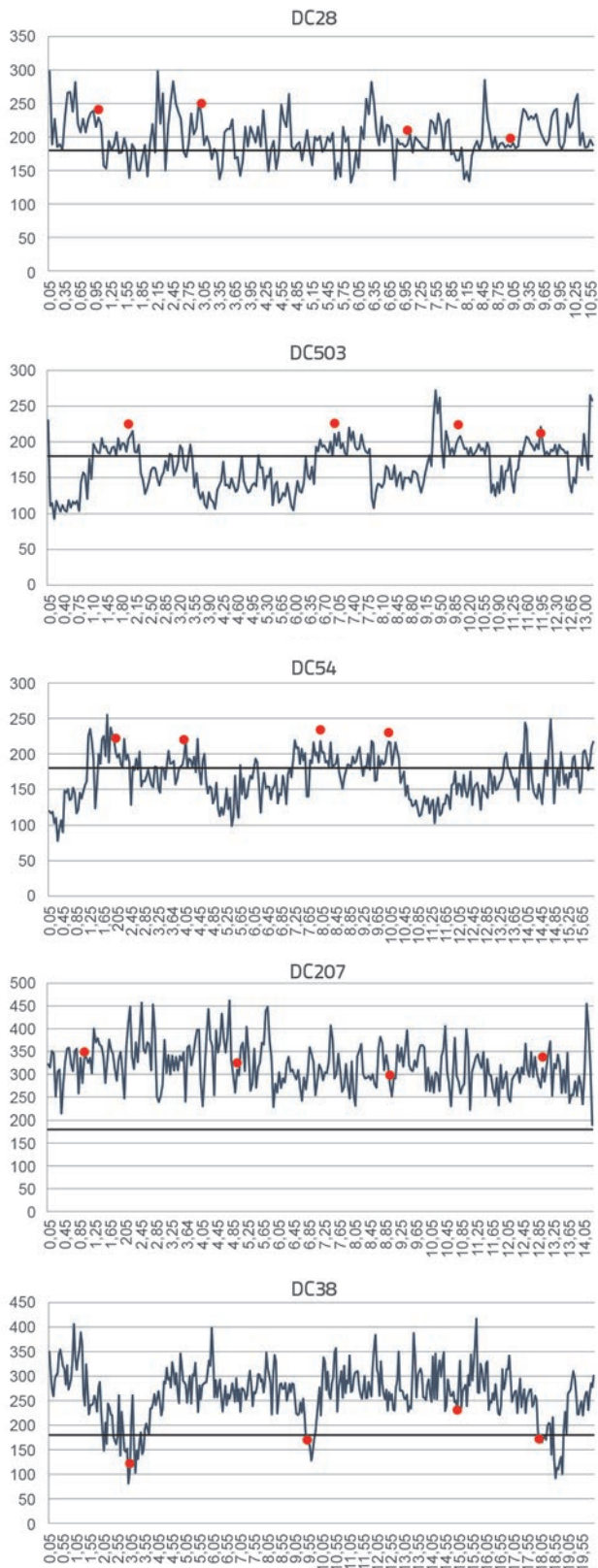
Cesta	Rezultati dinamičke metode ispitivanja			Rezultati statičke metode ispitivanja
	Interval retrorefleksije R_L [mcd/lx/m ²]	Postotni udio [%]	Prosječna vrijednost retrorefleksije R_L [mcd/lx/m ²]	Prosječna vrijednost retrorefleksije R_L [mcd/lx/m ²]
DC28	0 - 50	0,00	-	224,75
	50 - 180	20,75	158,55	
	180 - 220	54,25	195,90	
	220 - 300	25,00	243,43	
	> 300	0,00	-	
DC503	0 - 50	0,31	22,40	226,50
	50 - 180	60,31	146,98	
	180 - 220	34,69	193,67	
	220 - 300	4,38	231,00	
	> 300	0,31	308,00	
DC54	0 - 50	0,00	-	224,00
	50 - 180	56,60	141,23	
	180 - 220	40,38	191,63	
	220 - 300	3,02	247,50	
	> 300	0,00	-	
DC207	0 - 50	0,00	-	327,50
	50 - 180	0,00	-	
	180 - 220	0,70	202,00	
	220 - 300	34,62	270,65	
	> 300	64,69	345,98	
DC38	0 - 50	0,00	-	173,75
	50 - 180	8,11	145,58	
	180 - 220	4,46	197,95	
	220 - 300	61,87	262,46	
	> 300	24,95	332,22	

intervala u ukupnom mjerenju. S obzirom na to da dinamički mjerni uređaj mjeri retrorefleksiju kontinuirano tijekom vožnje, prije ispitivanja je postavljen mjerni interval na 50 m, što znači da uređaj svakih 50 metara izbacuje prosječnu vrijednost retrorefleksije. Prosječne vrijednosti retrorefleksije prikazane u tablici 7. predstavljaju aritmetičku sredinu svih prosječnih vrijednosti 50-metarskih intervala za svaki pojedini interval retrorefleksije.

S obzirom na to da je vrijednosni interval u kojem je potrebno provoditi drugi stupanj ocjenjivanja za obnovljene oznake između 180 i 220 mcd/lx/m², može se zaključiti da sve vrijednosti ispod 180 mcd/lx/m² ne zadovoljavaju propisanu kvalitetu. Iz tablice je vidljivo da na cesti DC 207 99,30 % retrorefleksije oznake mjerene dinamičkom metodom zadovoljava propisane vrijednosti. Također, prosječna vrijednost retrorefleksije statičke

metode zadovoljava propisane vrijednosti. Vrijednosti mjerene dinamičkom metodom na cesti DC28 ne zadovoljavaju propisane uvjete 20,75 %, a mjerene statičkom metodom zadovoljavaju. Slično je i na cestama DC503 i DC54, gdje dinamičkom metodom 60,62 %, odnosno 56,60 % oznake ne zadovoljava, dok s druge strane prema rezultatima statičke metode oznaka zadovoljava propisanu kvalitetu. Bitno je naglasiti to da na navedenim cestama značajan dio retrorefleksije oznaka, prema dinamičkoj metodi, pripada vrijednosnom intervalu između 180 – 220 mcd/lx/m² iz čega je vidljivo da kvaliteta oznake nije na zadovoljavajućoj razini.

Na cesti DC38, prema dinamičkoj metodi oznaka zadovoljava (86,82 %), ali prema statičkoj metodi ne zadovoljava. Tablica 8. prikazuje konačnu ocjenu kvalitete oznaka prema dobivenim rezultatima.



Slika 3. Grafički prikaz rezultata dinamičke i statičke metode ispitivanja na analiziranim cestama

Tablica 8. Ocjena kvalitete retrorefleksije oznake ovisno o metodologiji ispitivanja

Cesta	Kvaliteta oznake zadovoljava propisane uvjete sukladno dinamičkoj metodi	Kvaliteta oznake zadovoljava propisane uvjete sukladno statičkoj metodi
DC28	NE	DA
DC503	NE	DA
DC54	NE	DA
DC207	DA	DA
DC38	DA	NE

Na slici 3. grafički su prikazani navedeni rezultati. Na x-osi nalazi se kilometraža ceste, a na y-osi retrorefleksija oznake. Crna vodoravna linija predstavlja minimalnu propisanu vrijednost retrorefleksije (180 mcd/lx/m^2). Plava linija predstavlja vrijednosti retrorefleksije dobivene dinamičkom metodom, a crvene točke predstavljaju vrijednosti retrorefleksije dobivene statičkom metodom ispitivanja (prema ZTV M02 metodologiji).

5. Zaključak

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je moguće različito vrednovati kvalitetu oznake ovisno o primijenjenoj metodi ispitivanja retrorefleksije. Razlog je tomu način izvođenja ispitivanja. Kod statičke metode ispituju se samo nasumično odabrani odsječci ceste koji su relativno kratki te obuhvaćaju vrlo kratki dio ceste. Na primjeru cesta u ovom istraživanju lako je izračunati postotak ceste obuhvaćene statičkim ispitivanjem. Naime, ukupna duljina svih pet cesta iznosi 74,15 km. Na svakoj cesti se, prema ZTV M02 metodi, uzimaju četiri mjerna odsjeka, svaki u duljini od 100 m, što znači da je na jednoj cesti 400 metara obuhvaćeno ispitivanjem. Drugim riječima, gledajući ukupnu duljinu svih cesta, samo 2,69 % njihove duljine je ispitano statičkom metodom.

Analizom dobivenih rezultata može se zaključiti da cesta DC38 prema statičkoj metodi ne zadovoljava te bi u tom slučaju izvođač oznake bio direktno oštećen jer bi morao o svom trošku obnoviti oznaku. Na cestama DC503 i DC54 kvaliteta bi oznake, prema statičkoj metodi, zadovoljila iako prema rezultatima dinamičke metode 60,62 %, odnosno 56,60 % oznake ne zadovoljava propisane uvjete, čime bi se direktno naštetilo odgovornima za ceste. Cesta DC28 ne zadovoljava postotku od 20,70 % dinamičkom metodom, iako statičkom minimalno zadovoljava. Međutim, čak je 54,28 % dionice, prema dinamičkoj metodi, u vrijednosnom intervalu između $180 - 220 \text{ mcd/lx/m}^2$ iz čega je vidljivo da kvaliteta oznake nije na zadovoljavajućoj razini.

Prema konačnoj ocjeni kvalitete oznake, u skladu s dobivenim rezultatima prikazanim u tablici 8., razlike odnosno pogreške u procjeni oznaka na temelju statičke metode posljedica su njenih glavnih nedostataka. Naime, zbog malog mjernog područja

(mjerno područje statičkog retroreflektometra Zehntner ZRM 6013 + je 52 mm x 218 mm) samih statičkih retroreflektometara, oni ne mjere retrorefleksiju na cijeloj širini i dužini oznake, pa tako pomicanje uređaja za samo centimetar u bilo kojem smjeru na oznaci može prouzročiti značajno različita mjerenja. S obzirom na to da se obavlja ručno, statička metoda uvelike može ovisiti i o ispitivaču. Iskusni ispitivač može pronaći mjesta s dobrom ili lošom retrorefleksijom te na taj način direktno utjecati na rezultate mjerenja, a time i na konačnu ocjenu kvalitete oznake. Također, statičkom metodom obuhvaća se vrlo mali dio ceste (u ovom istraživanju 2,69 % od ukupne duljine ceste) zbog čega je, kao što je istraživanje pokazalo, moguća pogrešna procjena. S druge strane, dinamičkom metodom izmjereno je 100 % duljine oznaka te zbog veće mjerne površine (za Zehntner ZDR

6020 ona iznosi: ≥ 1000 mm x 880 mm) svaki centimetar oznake je ispitan što u konačnici osigurava cjelovitu i objektivniju ocjenu kvalitete oznaka, pa se preporučuje njena primjena. Naravno, statička metoda, iako ima određena ograničenja, ima i određene prednosti nad dinamičkom te se preporučuje za kraće kontrole kvalitete oznaka u kojima se ne zahtijeva ocjena cjelokupne oznake.

Na osnovi rezultata prikazanih u ovom radu, preporučuje se opširnije istraživanje usmjereno na poboljšanje metodologije statičkog ispitivanja. S opsežnijim istraživanjem moglo bi se utvrditi koliko treba mjernih odsječaka i koje optimalne duljine trebaju za postizanje preciznosti dinamičke metode te na temelju toga predložiti poboljšanja metodologije statičkog ispitivanja.

LITERATURA

- [1] Babić, D., Burghardt, T.E., Babić, D.: Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5 (2015) 2, pp. 150–169, [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06)
- [2] Thurston, P.: Pavement Markings Role in Enhancing Road Safety Strategies, Roadmarking Industry Association of Australia, 2009
- [3] Zhang, G., Hummer, J.E., Rasdorf, W.: Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity, *Journal of Transportation Engineering*, 136 (2009) 8, pp. 773–781, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000142](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000142)
- [4] Eby, D.W., Molnar, L.J., Kartje, P.S.: *Maintaining Safe Mobility in an Aging Society*, CRC Press, 2008, <https://doi.org/10.1201/9781420064544>
- [5] Shahata, K., Fares, H., Zayed, T., Abdelrahman, A., Chughtai, F.: Condition Rating Models for Sustainable Pavement Marking, TRB 87th Annual Meeting Compendium of Papers DVD, Washington D.C., USA, pp. 8–18, 2008.
- [6] Grosjes, T.: Retro-reflection of Glass Beads for Traffic Road Stripe Paint, *Optical Materials*, 30 (2008) 10, pp. 1549–1554, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2007.09.010>
- [7] Graham, J.R., Harrold, J.K., King, E.L.: Pavement Markings Retroreflectivity Requirements for Older Drivers, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1529 (1996), pp. 65–70, <https://doi.org/10.3141/1529-08>
- [8] Zwahlen, H.T., Schnell, T.: Drive Eye Scanning Behavior at Night as a Function of Pavement Marking Configuration, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1605 (2000), pp. 62–72, <https://doi.org/10.3141/1605-08>
- [9] Loetterle, F.E., Beck, R.A., Carlson, J.: Public Perception of Pavement – Marking Brightness, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1715 (2000), pp. 51–59, <https://doi.org/10.3141/1715-08>
- [10] Parker, N.A., Meja, J.S.M.: Evaluation of the Performance of Permanent Pavement Markings, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1824 (2003), pp. 123–132, <https://doi.org/10.3141/1824-14>
- [11] Debailon, C., Carlson, P., He, Y., Schnell, T., Aktan, F.: Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Sight Visibility Needs, Federal Highway Administration, Georgetown Pike, USA, 2007. Report Number FHWA–HRT–07–059
- [12] Andrady, A.L.: *Pavement Marking Materials: Assessing Environment-Friendly Performance*, National Cooperative Highway Research Program, Report 392, National Academy of Science, Washington D.C., USA, 1997 ISBN: 0–309–06064–8
- [13] Migletz, J., Graham, J.L., Harwood, D.W., Bauer, K., Sterner, P.: Service Life of Durable Pavement Markings, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1749 (2001), pp. 13–21, <https://doi.org/10.3141/1749-03>
- [14] Lee, J.T., Maleck, T.L., Taylor, W.C.: Pavement Marking Material Evaluation Study in Michigan, *Institute of Transportation Engineers Journal*, 69 (1999) 7, pp. 48–51.
- [15] Zhang, Y., Wu, D.: Methodologies to Predict Service Lives of Pavement Marking Materials, *Journal of the Transportation Research Forum*, 45 (2006) 3, pp. 5–18.
- [16] Miller, T.R.: Benefit–Cost Analysis of Lane Marking, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1334 (1992), pp. 38–45.
- [17] Moses, P.: *Edge Lines and Single Vehicle Accidents*, Western Road, 1986
- [18] *Technical Terms of Company Croatian Roads Ltd.*, Zagreb, 2010
- [19] European Standard EN 1436:2009 *Materials for Road Markings–Characteristics*
- [20] Babić, D., Šćukanec, A., Babić, D.: Determining the Correlation Between Daytime and Night-Time Road Markings Visibility, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 11 (2016) 4, pp. 283–290, <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2016.33>
- [21] <http://www.zehntner.com/products/categories/retroreflection/zrm-6013plus-retroreflector#downloads> (07.02.2017.)