

Primljen / Received: 25.8.2024.

Ispravljen / Corrected: 25.1.2025.

Prihvaćen / Accepted: 1.2.2025.

Dostupno online / Available online: 10.3.2025.

Pasivno pouzdani stupovi uz ceste kao mjera povećanja razine sigurnosti u prometu

Autori:

Izv.prof.dr.sc. **Višnja Tkalčević Lakušić**, dipl.ing.grad.

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

visnja.tkalcevic.lakusic@grad.unizg.hr

Autor za korespondenciju

Prof.dr.sc. **Darko Babić**, dipl.ing.prom.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

darko.babic@fpz.unizg.hr

Pregledni rad

Višnja Tkalčević Lakušić, Darko Babić

Pasivno pouzdani stupovi uz ceste kao mjera povećanja razine sigurnosti u prometu

Intencija je ovog rada pokušati utjecati na smanjenje teških posljedica prometnih nesreća do kojih dolazi zbog udara vozila u stupove uz ceste. U radu je objašnjena problematika vezana uz postojeću opremu uz ceste pri udaru vozila i analizirana sigurnost prometa na hrvatskim cestama. Kao jedna od mjera povećanja razine sigurnosti na cestama prikazana je mogućnost primjene pasivno pouzdane infrastrukture, posebno rasvjetnih stupova, kao alternative postojećoj opremi. Prikazana su svojstva koja trebaju zadovoljiti stupovi kako bi se smatrali pasivno pouzdanima prema normi EN 127676:2019. Analizirana je opravdanost primjene pojedine vrste pasivno pouzdanih stupova za određenu lokaciju s obzirom na mogućnost apsorpcije energije.

Ključne riječi:

ceste, sigurnost u prometu, pasivno pouzdani stupovi, sudar vozila, apsorpcija energije

Subject review

Višnja Tkalčević Lakušić, Darko Babić

Passively safe poles along roads as a measure to increase traffic safety

The intention of this paper is to try to influence the reduction of serious consequences in the case of traffic accidents that occur due to the collision of vehicles with poles along the roads. The paper explains the problem related to the existing equipment along the roads in the event of a vehicle collision and analyzes the safety of traffic on Croatian roads. As one of the measures to increase road safety, the possibility of using passively safe infrastructure, especially lighting poles, as an alternative to the existing equipment was presented. The properties that columns must satisfy in order to be considered passively safe according to the EN 127676:2019 standard are shown. The justification of the application of certain types of passively safe columns for a specific location was analyzed, considering the possibility of energy absorption.

Key words:

roads, traffic safety, passively safe poles, energy absorption, vehicle crash

1. Uvod

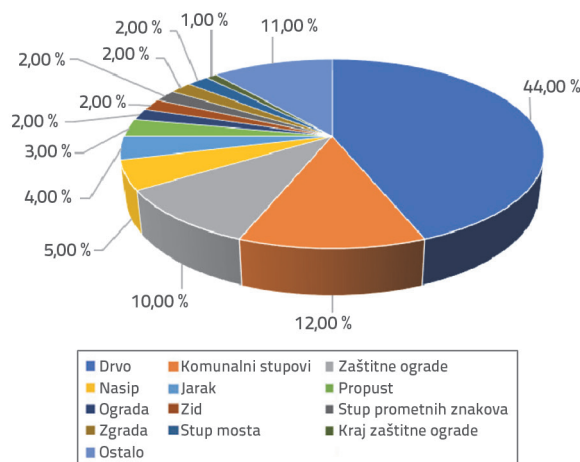
Nesreće u prometu uzrokuju teške posljedice, bilo da je riječ o ozljedama i gubitku ljudskih života ili o materijalnoj šteti. Statistike pokazuju da je oko 20 % smrtnih slučajeva u prometnim nesrećama posljedica slijetanja vozila s kolnika i udara vozila u fiksni objekt uz cestu [1]. Gotovo polovina smrtnih slučajeva u nesrećama s fiksnim objektima događa se noću te u njima sudjeluju vozači pod utjecajem alkohola. Do takvih nesreća dolazi i zbog prevelike brzine, umora, nesmotrenosti ili slabe vidljivosti.

U sudaru s objektima uz cestu samo je u 2022. u SAD-u poginulo 8697 osoba, što je prikazano u tablici 1. U zemljama Europske unije (EU) u prometnim nesrećama u kojima je sudjelovalo jedno vozilo (može se reći da je većina tih nesreća posljedica udara u objekt uz cestu) u istoj je godini poginulo 6369 osoba (tablica 2.), što je 35 % svih smrtno stradalih na cestama EU-a [2]. Prema statistikama [3], sudari vozila i objekta uz cestu utječu na 18 do 42 % svih nesreća sa smrtnim ishodom.

U Republici Hrvatskoj, prema podacima Ministarstva unutarnjih poslova, prometne nesreće u kojima je vozilo udarilo u objekt uz cestu čine oko 8 % ukupnog broja prometnih nesreća (preciznije, u 2021. 8,1 %, u 2022. 8,2 %, a u 2023. 8,7 %) [4]. Kada se govori o udjelu takvih nesreća sa smrtnim posljedicama u ukupnome broju prometnih nesreća s poginulima, on je u 2021. iznosio 5,3 %, u 2022. 4,5 %, a u 2023. 6,0 %. Udio takvih prometnih nesreća

u kojima su osobe ozlijeđene u odnosu na ukupan broj nesreća s ozlijeđenim sudionicima iznosio je oko 4 %.

Najčešći objekti na koje vozilo udari jesu stabla i stupovi uz ceste [5]. Prema statistikama [1], u nesrećama sa smrtnim ishodom najčešći objekti na koje vozilo nalijeće su stabla (3836 smrtnih slučajeva, 44 %), stupovi uz ceste (1027 smrtnih slučajeva, 12 %) i zaštitne ograde (844 smrtna slučaja, 10 %), što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Udio smrtnih slučajeva u sudaru s čvrstim objektom s obzirom na vrstu objekta [1]

Tablica 1. Podaci o osobama poginulima u prometnim nesrećama u SAD-u 2005. – 2022. [1]

Godina	Poginuli u nesrećama s fiksnim objektima		Ostali poginuli		Svi poginuli	
	Broj	[%]	Broj	[%]	Broj	[%]
2005.	9176	21	34,334	79	43,510	100
2006.	9303	22	33,405	78	42,708	100
2007.	9289	23	31,970	77	41,259	100
2008.	8792	23	28,631	77	37,423	100
2009.	7928	23	25,955	77	33,883	100
2010.	7529	23	25,470	77	32,999	100
2011.	7378	23	25,101	77	32,479	100
2012.	7697	23	26,085	77	33,782	100
2013.	7553	23	25,341	77	32,894	100
2014.	7518	23	25,226	77	32,744	100
2015.	7700	22	27,785	78	35,485	100
2016.	8039	21	29,767	79	37,806	100
2017.	7875	21	29,598	79	37,473	100
2018.	7465	20	29,370	80	36,835	100
2019.	7308	20	29,047	80	36,355	100
2020.	8622	22	30,385	78	39,007	100
2021.	8904	21	34,326	79	43,230	100
2022.	8697	20	33,817	80	42,514	100

Tablica 2. Smrtni slučajevi u prometnim nesrećama s jednim vozilom po zemljama u EU27 i EFTA-i (2012. – 2022.) prema bazi CARE [2]

Država	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	LT*	ST*
Belgija	312	322	282	310	265	223	222	250	201	190	204	-35 %	-18 %
Bugarska	199	221	214	217	234	193	176	173	139	209	162	-19 %	-6 %
Češka	243	197	220	235	186	166	176	204	160	167	186	-24 %	-9 %
Danska	-	-	46	48	54	49	39	58	53	34	46	-	-21 %
Njemačka	1102	987	995	958	895	927	960	899	874	789	895	-19 %	0 %
Estonija	-	-	25	-	23	11	21	17	22	19	14	-	-18 %
Irska	-	-	-	-	-	55	46	48	48	-	-	-	-
Grčka	424	372	300	323	320	293	263	264	263	275	281	-34 %	6 %
Španjolska	672	522	606	589	622	624	613	595	506	544	645	-4 %	8 %
Francuska	410	331	1194	1305	1203	1289	1194	894	744	807	939	129 %	5 %
Hrvatska	129	104	80	97	87	-	113	-	99	108	118	-9 %	-
Italija	1655	1591	1475	1563	1461	1532	1453	1392	1146	1306	1446	-13 %	4 %
Cipar	22	20	15	24	9	15	16	8	18	18	10	-55 %	-
Latvija	45	49	68	62	46	32	29	41	52	-	-	-	-
Litva	-	64	69	59	45	39	43	49	33	38	36	-	-27 %
Luksemburg	17	17	13	17	17	11	19	12	9	9	22	29 %	83 %
Mađarska	134	142	129	156	138	125	111	136	106	146	121	-10 %	-11 %
Malta	-	-	-	2	4	1	11	2	3	4	-	-	-
Nizozemska	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Austrija	186	142	153	166	151	146	144	116	136	129	145	-22 %	25 %
Poljska	847	792	727	670	729	703	728	700	711	627	518	-39 %	-26 %
Portugal	300	234	244	169	230	219	258	280	227	236	251	-16 %	-10 %
Rumunjska	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slovenija	24	25	35	46	53	37	36	37	31	44	23	-4 %	-38 %
Slovačka	-	-	-	-	69	79	69	72	83	83	72	-	0 %
Finska	79	105	89	90	107	97	94	81	87	82	69	-13 %	-15 %
Švedska	86	101	70	107	97	100	100	66	74	62	62	-28 %	-6 %
EU	7147	6535	7175	7361	7100	7066	6934	6500	5825	6026	6369	-11 %	-2 %
Island	6	8	-	9	7	8	10	4	6	5	3	-	-
Lihtenštajn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Norveška	48	71	53	45	55	28	38	36	31	29	38	-21 %	6 %
Švicarska	161	110	94	116	80	99	99	83	109	81	112	-30 %	35 %

LT* = dugoročna promjena u odnosu na 2012.; ST* = kratkoročna promjena u odnosu na 2019.

S obzirom na to da u Republici Hrvatskoj trenutačno nisu dostupni statistički podaci o broju prometnih nesreća u kojima je vozilo naletjelo na rasvjetni ili drugi komunalni stup pored ceste, za stjecanje uvida u stanje mogu poslužiti informacije iz medija. U nastavku navedeni su neki od naslova s informativnih portala:

- "Sletio s ceste i udario u betonski rasvjetni stup. Teže ozlijeđenog vozača morali iz auta vaditi vatrogasci [6]"
- "Od siline udarca srušio rasvjetni stup, a vozilo uništeno do neprepoznatljivosti: 'Vozača smo jedva izvukli iz vozila koji je ostao priklješten u njemu' [7]"
- "AUTO NEPREPOZNATLJIV Dvoje mrtvih u Medulinu, od siline udara auta izbijen rasvjetni stup [8]".

Na slici 2. prikazane su posljedice prometnih nesreća u kojima je vozilo udarilo u betonski odnosno metalni stup uz rub ceste. Sudari vozila sa stupovima ne moraju imati tako teške posljedice. Jedan od načina da se smanje posljedice takvih prometnih nesreća primjena je pasivno pouzdanih stupova uz ceste s različitim svojstvima apsorpcije energije. Naime, problem pri udaru vozila u stup jest stvaranje velike količine energije. Stupovi koji se obično postavljaju uz ceste u Republici Hrvatskoj kruti su i ne mogu preuzeti svu energiju pa se ona većim dijelom prenosi na vozilo i putnike u tome vozilu. Pritom dolazi do prenoglog zaustavljanja vozila na maloj udaljenosti, što negativno utječe na putnike u vozilu.



Slika 2. Posljedice udara vozila u uobičajene krute stupove uz ceste [6, 8]



Slika 3. Sudar vozila s pasivno pouzdanim stupom [9]

Postavljanjem stupova koji bi se prilikom udara ponašali na drugačiji način, naprimjer, deformirali se i apsorbirali energiju, znatno bi se smanjila energija koju bi vozilo moralo apsorbirati, postiglo bi se manje usporavanje vozila, a povećala razina sigurnosti putnika u vozilu. Za ilustraciju, na slici 3. prikazan je sudar vozila s pasivno pouzdanim stupom koji može apsorbirati energiju.

Iskustva iz zemalja u kojima se pasivno pouzdani stupovi koriste oko 20 do 30 godina, kao što su to skandinavske zemlje, Nizozemska, UK i SAD, pokazala su da primjena te vrste stupova pridonosi znatnome smanjenju broja poginulih osoba u prometnim nesrećama [10]. Naprimjer, u UK-u je u periodu od 2002. do 2009. ugrađeno oko 26.000 pasivno pouzdanih stupova i u tome razdoblju nisu zabilježeni ni jedan smrtni slučaj ni teške ozljede putnika u vozilu pri sudaru vozila s takvom vrstom stupova [11].

2. Osvrt na stanje sigurnosti prometa u Republici Hrvatskoj

Prevenција prometnih nesreća i smanjenje njihovih posljedica ključni su ciljevi u području prometne sigurnosti. Radi podizanja razine sigurnosti i prometne kulture na hrvatskim cestama Hrvatski sabor je od 2019. do 2023. usvojio Izmjene i dopune Zakona o sigurnosti prometa na cestama. Nove odredbe tog zakona predviđaju strože kažnjavanje počinitelja najtežih prekršaja koji uzrokuju najteža stradanja u prometu [12]. Osim Zakona o sigurnosti prometa na cestama, Vlada Republike Hrvatske je 2021. donijela Odluku o donošenju Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa (NPSCP) Republike

Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. godine [13]. Do 2030. cilj je približiti se brojci manjoj od 148 poginulih osoba u prometu. Sa stopom poginulih osoba u 2023. od 7,1 na stotinu tisuća stanovnika Hrvatska je pri dnu ljestvice zemalja Europske unije jer je prosjek Europske unije 4,9 poginulih osoba.

Opća skupština Ujedinjenih naroda je u rujnu 2020. usvojila Rezoluciju A/RES/74/299 "Poboljšanje globalne sigurnosti cestovnog prometa", u kojoj je proglašeno "Drugo desetljeće akcija za sigurnost cestovnog prometa 2021. – 2030.", u cilju prevencije najmanje 50 posto smrtnih slučajeva i ozljeda u prometu do 2030. [14]. U skladu s vizijom održivog razvoja i sigurnosti cestovnog prometa Europske unije i Ujedinjenih naroda u NPSCP 2021. – 2030. kao poseban cilj postavljeno je unaprjeđenje sigurnosti cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj, čime se izravno pridonosi ostvarenju Plana Ujedinjenih naroda za

održivi razvoj 2030. (UN Agenda 2030.). Za provedbu tog cilja predviđene su mjere u 13 područja djelovanja:

1. sigurna brzina
2. vožnja bez utjecaja alkohola, droga i lijekova
3. sigurna vožnja
4. sigurnosna kaciga
5. zaštita u vozilu
6. prevencija distrakcije vozača
7. aktivni oblici prometovanja – pješaci, biciklisti
8. sigurnost motociklista i mopedista
9. sigurnost profesionalnih vozača
- 10. sigurna infrastruktura**
11. sigurna vozila
12. brze i učinkovite hitne službe
13. jačanje kapaciteta prometne policije i inspekcijских službi.

Kao doprinos mjeri navedenoj pod rednim brojem (10) "sigurna infrastruktura" u obzir se uzimaju zahvati vezani uz samu kolničku konstrukciju te uz opremu koja se ugrađuje uz prometnicu. Kada se promatra kolnička konstrukcija, osim odabiru odgovarajućih slojeva kolničke konstrukcije ovisno o kategoriji ceste, posebna pozornost posvećuje se završnome sloju kolnika s obzirom na međudjelovanje vozila i kolnika. U cilju osiguranja potrebne ravnosti vozne površine, ovisno o veličini prometnog opterećenja, područja na kojemu je cesta izvedena s obzirom na temperature te sprečavanja pojave kolotruga, u primjeni su asfaltni te betonski završni slojevi [15–18]. Kako bi se povećala razina sigurnosti u prometu, na voznoj površini kolnika velika se pozornost posvećuje i kvaliteti horizontalne signalizacije [19]. Kada se promatra oprema koja se ugrađuje

uz cestu, tada je primjena pasivno pouzdanih stupova jedna od najboljih mjera za povećanje razine sigurnosti u prometu. Naime, pri udaru vozila u takvu vrstu stupa oni otkazuju na kontrolirani način, čime se smanjuju ozljede putnika u vozilu i ostalih sudionika u prometu. U sklopu te mjere preporuča se postupna zamjena postojećih krutih stupova pasivno pouzdanim stupovima.

S obzirom na to da se u Republici Hrvatskoj službeno ne prate statistike o udaru vozila u stupove javne rasvjete, u tome kontekstu koristan može biti podatak o prometnim nesrećama koje su prema vrsti zabilježene kao "udar vozila u objekt kraj ceste". Postoci takvih prometnih nesreća, navedeni u uvodnome dijelu, pokazuju kako zaista postoji prostor za unaprjeđenje cestovne infrastrukture, što je i u skladu s prethodno navedenim područjima NPSCP-a.

Za potrebe daljnje analize, prema podacima [4], u razdoblju od 2021. do 2023. promatran je uzorak od 8152 prometne nesreće. Najviše "udara vozila u objekt kraj ceste" dogodilo se na ravnom cestovnom potezu (oko 41 %) te u krivinama (zavojima) (oko 24 %), i to na dijelovima ceste gdje je promet upravljani prometnim znakovima ili prometnim pravilima. Oko 15 % nesreća zbilo se na području raskrižja. Na području gdje prometom upravlja semafor dogodilo se oko 2 % od ukupnog broja "udara vozila u objekt kraj ceste". Nadalje, takve prometne nesreće događale su se istaknuto najviše pri ograničenoj brzine od 50 km/h (više od 63 %). Kada se promatraju uvjeti vidljivosti, tada su te prometne nesreće podjednako bile raspoređene u dnevnim i noćnim uvjetima.

Kada se govori o prisutnosti javne rasvjete u analiziranim nesrećama, 36 % njih dogodilo se na mjestima na kojima je javna rasvjeta bila u funkciji, 38 % na mjestima na kojima javna rasvjeta nije bila u funkciji, a 20 % na mjestima na kojima nije bilo javne rasvjete. Za 6 % nesreća nije bilo dostupnih podataka o rasvjeti u trenutku nesreće. Ipak, iz navedenoga slijedi kako je u čak 74 % nesreća uz cestu postojala javna rasvjeta, što može biti indikativan podatak, ali i očekivan, jer se većina tih prometnih nesreća dogodila unutar naselja.

Navedeni podaci mogli bi biti korisni prilikom definiranja parametara za primjenu mjera povećanja razine sigurnosti infrastrukture pomoću pasivno pouzdanih stupova.

3. Pasivno pouzdani stupovi prema EN 12767:2019

3.1. Općenito

Proračun pasivno pouzdanih rasvjetnih stupova uz ceste u Europi provodi se prema normi EN 40, a procjena pasivne pouzdanosti prema normi EN 12767:2019 [20]. U normi EN 12767:2019 definirane su razine pasivne pouzdanosti te su propisana pravila za provođenje i interpretaciju rezultata ispitivanja pokusnih sudara pri različitim uvjetima udara i brzinama vozila. Norma za pasivnu pouzdanost EN 12767 kontinuirano se analizira i prilagođava otprilike svakih pet do deset godina, a revidirana je 2019.

Prema prethodnome izdanju norme EN 12767:2007 [21], stupovi su se klasificirali na temelju triju parametara: brzine vozila pri udaru u stup, mogućnosti apsorpcije energije i razine sigurnosti za putnike u vozilu. Prema revidiranoj, sada važećoj normi EN 12767:2019, klasifikacija stupova s obzirom na pasivnu pouzdanost provodi se na temelju sedam parametara:

- brzine vozila pri udaru u stup
- mogućnosti apsorpcije energije
- razine sigurnosti za putnike u vozilu (engl. *Occupant safety level*)
- tipu zatrpavanja temelja stupa (engl. *Backfill type of foundation for the poles*)
- načinu otkazivanja stupa
- smjeru udara – kutu pod kojim vozilo udari u stup
- opasnosti od udubljenja krova.

3.2. Parametri za procjenu pasivne pouzdanosti

3.2.1. Brzina vozila pri udaru u stup

Klasa brzine označava brzinu vozila u trenutku pokusnog sudara. Prema normi EN 12767, zahtijeva se provođenje dvaju tipova pokusnih sudara, i to pri malim brzinama od 35 km/h i pri većim brzinama koje mogu biti 50, 70 ili 100 km/h. Tijekom pokusnih sudara koristi se uobičajeno putničko vozilo mase 900 kg i različite vrste temeljenja stupova.

Izvođenje pokusnih sudara pri malim brzinama potrebno je kako bi se osiguralo zadovoljavajuće funkcioniranje konstrukcije. Na temelju pokusnih sudara pri većim brzinama mogu se vidjeti način otkazivanja stupova, mogućnost apsorpcije energije pri sudaru te utjecaji na vozilo i putnike u vozilu.

3.2.2. Kategorije stupova s obzirom na mogućnost apsorpcije energije

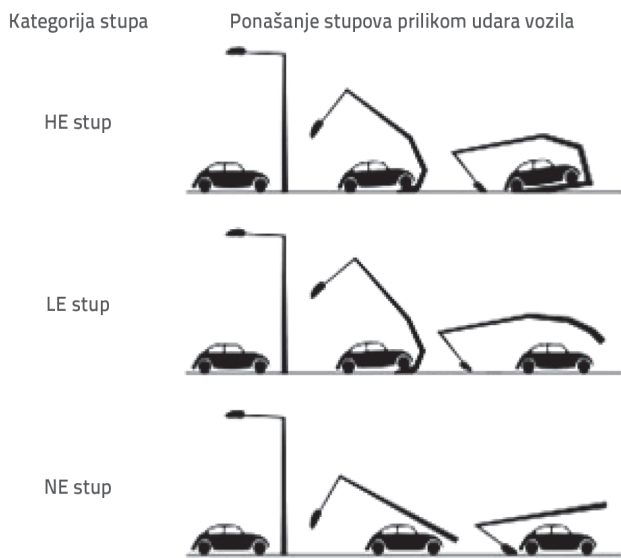
S obzirom na mogućnost apsorpcije energije pasivno pouzdani stupovi se prema EN 12767:2019 mogu podijeliti u tri kategorije:

- HE stupovi (engl. *high energy absorbing*) – stupovi koji apsorbiraju veliku količinu energije
- LE stupovi (engl. *low energy absorbing*) – stupovi koji apsorbiraju malu količinu energije
- NE stupovi (engl. *non-energy absorbing*) – stupovi koji ne apsorbiraju energiju.

Ponašanje navedenih stupova pri udaru vozila prikazano je na slici 4.

Visokoapsorbirajući stupovi (HE stupovi) znatno smanjuju brzinu vozila nakon sudara, a u nekim slučajevima i potpuno zaustavljaju vozilo. Projektirani su tako da se deformiraju ispred vozila i ispod njega pri udaru vozila u stup, a ponekad se mogu i omotati oko vozila.

Niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi) malo smanjuju brzinu vozila nakon sudara. Obično se projektiraju tako da nakon sudara otkazuju ispred vozila i ispod njega prije odvajanja od temelja.



Slika 4. Kategorije stupova s obzirom na mogućnost apsorpcije energije [21]

Pri sudaru vozila sa stupovima koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi) stup se odvaja oko temelja, nakon čega se stup prebacuje preko vozila i pada u blizini temelja. Vozilo obično nastavlja kretanje uz određeno smanjenje brzine i relativno malu štetu na vozilu [22]. Kod sudara vozila s takvim stupom manji je rizik od ozljeda vozača nego u slučaju stupova koji apsorbiraju energiju, ali je veći rizik od sekundarnih sudara zbog pada stupa i vozila koje se nastavilo kretati. Ponašanje neapsorbirajućih stupova prikazano je na slici 5.



Slika 5. Ponašanje NE stupa [9]

Tablica 3. Kategorije stupova s obzirom na mogućnost apsorpcije energije [20]

Brzina vozila pri sudaru, v_i [km/h]	50	70	100
Kategorija stupa	Brzina vozila nakon sudara v_e [km/h]		
HE	$v_e = 0$	$0 \leq v_e \leq 5$	$0 \leq v_e \leq 50$
LE	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$50 < v_e \leq 70$
NE	$5 < v_e \leq 50$	$30 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

Za određivanje kategorije stupa s obzirom na mogućnost apsorpcije energije mjere se brzina vozila u trenutku pokusnog sudara (v_i) i brzina vozila nakon pokusnog sudara (v_e) na određenoj udaljenosti od stupa te se uspoređuju s vrijednostima prikazanim u tablici 3.

3.2.3. Razina sigurnosti za putnike u vozilu

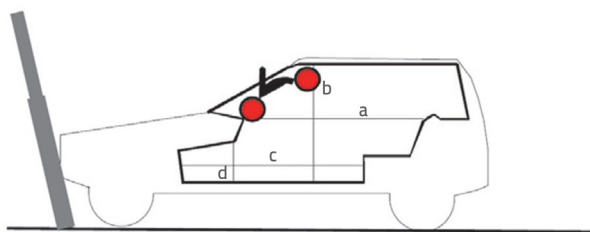
U revidiranoj normi EN 12767:2019 definirano je pet razina sigurnosti za putnike u vozilu pri udaru vozila u stup (engl. *Occupant safety level*) koje se označavaju slovima od A do E, pri čemu slovo A označava najvišu razinu sigurnosti. To je promjena u odnosu na prethodnu verziju norme EN 12767:2007 u kojoj su bile definirane četiri razine sigurnosti za putnike u vozilu i koje su se označavale brojevima od 1 do 4.

Razine sigurnosti za putnike u vozilu određuju se na temelju vrijednosti dvaju parametra, ASI-a (engl. *Acceleration Severity Index*) i THIV-a (engl. *Theoretical Head Impact Velocity*), koje su dobivene na temelju rezultata velikog broja pokusnih sudara. Vrijednost ASI jest računaska vrijednost usporevanja vozila koje pretrpe putnici u vozilu tijekom sudara. To je zapravo mjera jačine sudara i kreće se od 1,4 za najnižu razinu sigurnosti do 0,6 za najvišu razinu sigurnosti. Vrijednost veličine THIV-a jest brzina izražena u km/h pri kojoj u sudaru putnik udara glavom o unutrašnjost vozila (slika 6.). Kreće se od 44 km/h za najnižu razinu sigurnosti do 11 km/h za najvišu razinu sigurnosti [23].

U tablici 4. prikazane su odgovarajuće vrijednosti ASI-a i THIV-a koje moraju biti postignute pri pokusnim sudarima za pojedinu kategoriju stupova s obzirom na mogućnost apsorpcije energije.

Tablica 4. Određivanje razine sigurnosti za putnike u vozilu [20]

Kategorija stupova s obzirom na apsorpciju energije	Razina sigurnosti za putnike u vozilu	Brzine (najveće vrijednosti)			
		Obavezni pokusni sudar pri maloj brzini od 35 km/h		Pokusni sudar pri brzinama od 50 km/h, 70 km/h i 100 km/h	
		ASI	THIV km/h	ASI	THIV km/h
HE/LE/NE	E	1,0	27	1,4	44
HE/LE/NE	D	1,0	27	1,2	33
HE/LE/NE	C	1,0	27	1,0	27
HE/LE/NE	B	0,6	11	0,6	11
NE	A	Vrijednosti za ASI i THIV nisu propisane.		Nema izmjerenih vrijednosti za ASI i THIV.	



Slika 6. Određivanje vrijednosti THIV [21]

3.2.4. Tipovi zatrpavanja temelja stupa

Način zatrpavanja temelja stupa (engl. *Backfill type*) znatno utječe na ponašanje stupova. U normi EN 12767:2019 definirana su tri tipa zatrpavanja temelja stupova (tablica 5.).

Tablica 5. Tipovi zatrpavanja temelja stupova [20]

Tip	Vrsta materijala
S	Standardno tlo/agregat
R	Asfalt ili beton
X	Nestandardno temeljenje

Zatrpavanje tipa S (engl. *Soil*) podrazumijeva standardno tlo/agregat određenog sastava i gustoće. Pri tome načinu zatrpavanja temelja potrebno je voditi računa o nehomogenosti tla, različitim tipovima tla i različitim razinama podzemnih voda, pri čemu i privremena prisutnost kišnice može utjecati na stabilnost tla [9].



Slika 7. Shematski prikazi otkazivanja stupova s odvajanjem (SE) i bez odvajanja (NS) [24]

Vrsta zatrpavanja temelja R (engl. *Rigid*) označava upotrebu ravne kontinuirane krute površine poput asfalta ili betona debljine dovoljne da osigura usidrenje stupa. Svi ostali tipovi zatrpavanja temelja smatraju se tipom X koji obuhvaća nestandardno temeljenje u, naprimjer, zasićenome tlu, glini ili šljunku.

3.2.5. Način otkazivanja

Norma razlikuje dva načina otkazivanja stupova u slučaju udara vozila. U jednome slučaju može doći do odvajanja stupa od temelja, što se označava kao SE (engl. *separation*), a u drugome nema odvajanja pa je oznaka NS (engl. *No Separation*). To je prikazano na slici 7.

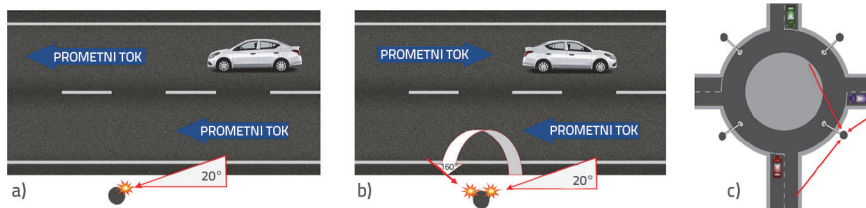
U klasu SE svrstavaju se stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi) i niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi) jer se pri sudaru odvajaju od podloge, a u klasu NS svrstavaju se visokoapsorbirajući stupovi (HE stupovi) jer se pri sudaru ne odvajaju od podloge.

Otkazivanje kod kojeg se stup ne odvoja od podloge bolje je rješenje, ali se ne može uvijek primijeniti kao što je to slučaj kod neapsorbirajućih stupova (NE stupova). Ispravan izbor ovisi o pojedinoj situaciji u prometu.

3.2.6. Smjer udara

Smjer udara označava kut pod kojim vozilo može udariti u stup u odnosu na smjer vožnje. Kao granična vrijednost usvojen je kut od 20° u odnosu na smjer vožnje, što je pretpostavljeni prosječni kut izlijetanja vozila [24].

Standardni stupovi uz ceste ponašaju se jednako bez obzira na smjer udara. Međutim, neki stupovi mogu imati dodatni mehanizam kao što je sustav za otkazivanje na posmik kod neapsorbirajućih stupova (NE stupova) pa se takvi stupovi neće jednako ponašati pri udaru vozila iz različitih smjerova. U normi EN 12767:2019 definirane su tri kategorije stupova s obzirom na smjer udara vozila:



Slika 8. Vrste stupova s obzirom na smjer udara vozila [9]

- SD stupovi (engl. *Single directional*): jednosmjerni stupovi
- BD stupovi (engl. *Bi directional*): dvosmjerni stupovi
- MD stupovi (engl. *Multi directional*): višesmjerni stupovi čije ponašanje ne ovisi o kutu udara vozila u stup.

Jednosmjerni stupovi (SD) otkazuju na očekivani način ako je kut udara vozila na taj stup manji od 20° u odnosu na smjer vožnje.

Dvosmjerni stupovi (BD) otkazuju na očekivani način ako je kut udara vozila manji od 20° u odnosu na dva smjera kretanja, tj. isto se ponašaju i u prometu iz suprotnog smjera (20° i 160°).

Višesmjerni stupovi (MD) otkazuju na očekivani način bez obzira na smjer iz kojeg stiže vozilo. Na slici 8. prikazane su vrste stupova s obzirom na smjer udara vozila.

3.2.7. Rizik od udubljenja krova

Sudar vozila s nekim tipovima pasivno pouzdanih stupova može rezultirati udubljenjem krova vozila, što predstavlja rizik za putnike u vozilu. Prema normi EN 12767:2019, razlikuju se dvije klase:

- klasa 0 kod koje su udubljenja krova manja od 102 mm
- klasa 1 kod koje je moguće udubljenje krova jednako ili veće od 102 mm.

Klasa 0 preporučuje se, ali ne može se uvijek postići. Naprimjer, kod visokoapsorbirajućih stupova (HE stupova) veći je rizik od udubljenja krova vozila jer se takvi stupovi mogu saviti oko vozila.

3.3. Označavanje stupova

Oznaka klase stupova prema normi EN 12767:2019 sastoji se od sedam parametara. Značenje oznaka prikazano je u tablici 6. na primjeru stupa **100 HE B R NS MD 0**. Za usporedbu, prema prethodnoj verziji norme EN 12767:2007 oznake stupova

Tablica 6. Oznake stupova prema EN 12767:2019 (primjer stupa oznake 100 HE B R NS MD 0)

100	HE	B	R	NS	MD	0
Klasa brzine	Mogućnost apsorpcije energije	Razina sigurnosti za putnike u vozilu	Tip temeljenja	Način otkazivanja	Smjer udara	Rizik od udubljenja krova
50, 70 ili 100	HE, LE ili NE	A, B, C, D ili E	S, R ili X	NS ili SE	SD, BD ili MD	0 ili 1

sadržavale su tri parametra. Naprimjer, oznaka stupa **100 NE 3** pojašnjavala je da se radi o neapsorbirajućemu stupu, da je brzina vozila pri udaru u stup do 100 km/h, a da je razina sigurnosti za putnike u vozilu 3. Druga svojstva vezana uz pasivnu pouzdanost bila su opisana u dodatnome tekstu.

4. Primjena pasivno pouzdanih rasvjetnih stupova

4.1. Općenito

U ovome poglavlju analizirana je opravdanost primjene pojedine vrste pasivno pouzdanih stupova za određenu dionicu ceste. Pri odabiru vrste stupova potrebno je voditi računa o više faktora kao što su način otkazivanja stupova, sigurnost putnika u vozilu, rizici za druge sudionike u prometu, naprimjer, u urbanim sredinama, ograničenje brzine na razmatranoj dionici, postojanje objekata uz cestu kao što su mostovi ili zidovi, šteta na vozilu i drugi.

4.2. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi)

Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi) preporučuju se na područjima na kojima su na cesti dopuštene velike brzine te nema okolnih objekata i pješaka. Primjenom stupova te vrste postiže se najveća razina sigurnost za putnike u vozilu jer nakon sudara vozilo nastavlja kretanje uz umjereno smanjenje brzine i s najmanjom štetom na vozilu u odnosu na druge vrste stupova. Na mjestima na kojima ne postoji opasnost za druge sudionike u prometu, stupovi tog tipa najbolji su izbor za putnike u vozilu jer je udar obično vrlo kratak, a vozilo se nastavlja kretati nakon sudara. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju ne preporučuju se u blizini pješačkih zona, biciklističkih staza i drveća.

4.3. Visokoapsorbirajući stupovi (HE stupovi)

Stupovi koji mogu apsorbirati energiju (HE i LE stupovi) preporučuju se na mjestima na kojima postoji mogućnost sekundarnih sudara te rizika za ostale sudionike u prometu. Visokoapsorbirajući stupovi mogu apsorbirati veliku količinu energije, pri čemu dolazi do plastične deformacije stupa i savijanja stupa ispod vozila. Takvi stupovi pri sudaru znatno usporavaju i zaustavljaju vozilo pa je smanjen rizik od sekundarnih udara

vozila u objekte uz ceste, drveće, pješake i ostale sudionike u prometu. Rizik od ozljeda putnika u vozilu kod sudara s tom vrstom stupova veći je u odnosu na sudar vozila sa stupom koji ne apsorbira energiju, ali još uvijek manji nego kod sudara vozila s uobičajenim stupovima uz naše ceste.

Korištenje stupova te vrste preporučuje se na mjestima gdje ne postoje prepreke oko stupova. Pri sudaru vozila s tom vrstom stupa potrebno je napomenuti da se vozilo može još kratko kretati dok se stup deformira. Granični HE stup zaustavlja vozilo.

4.4. Niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi)

Niskoapsorbirajući stupovi imaju neke kvalitete visokoapsorbirajućih i neapsorbirajućih stupova. Projektirani su tako da pri udaru vozila otkazuju popuštanjem ispred vozila i ispod njega prije nego što dođe do odvajanja stupa od temelja kao kod neapsorbirajućih stupova. Brzina vozila koje je udarilo u takav stup bit će smanjena i šteta na vozilu bit će manja nego u slučaju udara u visokoapsorbirajući stup. Ta vrsta stupova pogodna je za primjenu na većini kategorija cesta.

4.5. Sekundarni rizici

Uz primarne rizike za putnike u vozilu, udar vozila u pasivno pouzdani stup može predstavljati i sekundarni rizik s mogućim posljedicama po ostale sudionike u prometu. To se može dogoditi u slučaju kada rasvjetni stup ili neki njegov dio padne na cestu nakon udara vozila ili se samo vozilo nakon udara u stup može nastaviti kretati. U tim je situacijama opravdana primjena zaštitne ograde.

5. Zaključak

Prevenција prometnih nesreća i smanjenje njihovih posljedica ključni su ciljevi u području prometne sigurnosti. Prometne nesreće jesu događaji na cesti koji često rezultiraju teškim ili smrtnim posljedicama. Jedna od najčešćih vrsta takvih nesreća jest udar vozila u neke vrste objekata pored ceste. Kao što je navedeno u radu, u razdoblju od 2021. do 2023. u Hrvatskoj dogodile su se 8152 prometne nesreće opisane kao "udar vozila u objekt kraj ceste", a najčešće na ravnim potezima (41 %) i u zavojima (24 %), većinom na cestama upravljanim prometnim znakovima ili pravilima. Te su se nesreće najviše događale pri ograničenju brzine od 50 km/h (63 %), podjednako u dnevnim i noćnim uvjetima. Javna rasvjeta postojala je uz cestu u 74 % slučajeva, što je očekivano s obzirom na to da se većina nesreća dogodila unutar naselja. Pritom treba istaknuti da prometne nesreće pri kojima vozila udaraju u stupove uz cestu uzrokuju velik broj smrtno stradalih i ozlijeđenih osoba.

LITERATURA

[1] Collisions with fixed objects and animals, <https://www.iihs.org/topics/fatality-statistics/detail/collisions-with-fixed-objects-and-animals>

Jedan od načina da se smanje posljedice takvih prometnih nesreća jest primjena pasivno pouzdane infrastrukture uz ceste, posebno rasvjetnih stupova, s odgovarajućim svojstvima apsorpcije energije pri udaru vozila u stup, kao doprinos mjeri sigurne infrastrukture u sklopu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa (NPSCP) Republike Hrvatske.

Odabir vrste pasivno pouzdanih stupova za određenu dionicu ceste ovisi o više faktora kao što su način otkazivanja stupova, sigurnost putnika u vozilu, rizici za druge sudionike u prometu, ograničenje brzine na razmatranoj dionici, postojanje objekata uz cestu, šteta na vozilu i drugi.

Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi) preporučuju se na područjima na kojima su dopuštene velike brzine na cesti te na kojima nema okolnih objekata i pješaka. Primjenom te vrste stupova postiže se najveća razina sigurnosti za putnike u vozilu i najmanja šteta na vozilu u odnosu na druge vrste stupova. Ti se stupovi ne preporučuju u blizini pješačkih zona, biciklističkih staza i drveća. Stupovi koji mogu apsorbirati energiju (HE i LE stupovi) preporučuju se na mjestima na kojima postoji mogućnost od sekundarnih sudara te rizik za ostale sudionike u prometu.

Klasifikacija pasivno pouzdanih stupova prema revidiranoj normi iz 2019. provodi se na temelju sedam parametara pa je u skladu s time i označavanje stupova duže u odnosu na prije, ali se može provesti bolji odabir vrste stupa za određenu prometnu dionicu. S obzirom na to da se u Republici Hrvatskoj službeno prate samo statistike o prometnim nesrećama koje su prema vrsti zabilježene kao "udar vozila u objekt kraj ceste", bilo bi dobro pratiti i statistike o udaru vozila u stupove uz ceste te drveće i ostale objekte. Naime, u sadašnjim bazama namijenjenim za evidenciju nesreća u Hrvatskoj nema podatka o kakvom je objektu bila riječ pri udaru vozila (ograda, rasvjetni stup, stablo ili neki drugi čvrsti objekt) kao što je to praksa u bazama drugih zemalja u kojima se točno specificira u kakav je objekt vozilo udarilo. Vjerujemo da se primjenom današnje IT tehnologije u razumnome vremenskom okviru mogu unaprijediti postojeće baze, čime će se dobiti ne samo preciznija evidencija, već i kvalitetna podloga za poduzimanje potrebnih aktivnosti u podizanju razine prometne sigurnosti na cestama.

Kako bi se povećala razina sigurnosti u prometu, potrebna su daljnja ulaganja u prometnu infrastrukturu, uz praćenje postojećeg stanja sigurnosti te istraživačke i razvojne aktivnosti koje će pridonijeti odabiru optimalnih rješenja. Odabir pasivno pouzdanih stupova možda ne može spriječiti nesreću, ali može pomoći spasiti živote i smanjiti materijalne troškove. Na kraju treba istaknuti da cestovna rasvjeta godišnje spasi mnogo života unatoč navedenim problemima koji nastaju pri sudaru s rasvjetnim stupovima, a koji se također mogu smanjiti.

[2] Cars, European Commission, https://road-safety.transport.ec.europa.eu/eu-road-safety-policy/priorities/safe-vehicles/archive/safety-design-needs/cars_en

- [3] World report on road traffic injury prevention, World Health Organization, Geneva, 2004.
- [4] Bilteni o sigurnosti cestovnog prometa, Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, <https://mup.gov.hr/pristup-informacijama-16/statistika-228/statistika-mup-a-i-bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/287330>
- [5] European Transport Safety Council (ETSC), Forging Roadsides - Research Paper prepared for the ETSC Road Infrastructure Working Party, Brussels, 1998.
- [6] <https://www.novolist.hr/novosti/crna-kronika/sletio-s-cestei-udario-u-betonski-rasvjetni-stup-teze-ozlijedenog-vozacamoraliz-auta-vaditi-vatrogasci/>
- [7] <https://pozega.eu/od-siline-udarca-srusio-rasvjetni-stup-avozilo-unisteno-do-neprepoznatljivosti-vozaca-smo-jedvaizvukli-iz-vozila-koji-je-ostao-prikljesten-u-njemu-foto> (2022.)
- [8] <https://www.index.hr/vijesti/clanak/auto-neprepoznatljiv-dvojemrtvih-u-medulinu-od-siline-udara-auta-izbijen-rasvjetnistup/2000337.aspx> (2018.)
- [9] Passive safe light poles and support structures, https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf
- [10] Williams, G.L., Kennedy, J.V., Carroll, J.A., Beesley, R.: The use of passively safe signposts and lighting columns, Published Project Report PPR 342, Transport Research Laboratory, 2008.
- [11] New passive safety guidelines, https://www.ciht.org.uk/media/7882/new_passive_safety_guidelines.pdf
- [12] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14, 64/15, 108/17, 70/19, 42/20, 85/22, 114/22, 133/23, 145/24
- [13] NACIONALNI PLAN SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA REPUBLIKE HRVATSKE ZA RAZDOBLJE OD 2021. DO 2030., <https://npsc.hr/doc/dokumenti/NPSCP-2021-2030.pdf> 05.01.2025
- [14] Resolution adopted by the General Assembly on 31 August 2020, Ujedinjeni narodi, <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n20/226/30/pdf/n2022630.pdf?OpenElement>
- [15] Hrapović, K.: Sustainability in road construction – Two case studies, GRAĐEVINAR, 76 (2024) 5, pp. 413-423, <https://doi.org/10.14256/JCE.3979.2024>
- [16] Ozcanan, S., Firat, T., Ozcan, O.: Investigating the use of concrete and RCC instead of HMA in highway pavement in hot regions, GRAĐEVINAR, 76 (2024) 9, pp. 813-827, <https://doi.org/10.14256/JCE.4024.2024>
- [17] Burlacu, A.F., Racanel, C., Burlacu, A.: Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions, GRAĐEVINAR, 70 (2018) 12, pp. 1057-1062, <https://doi.org/10.14256/JCE.1578.2016>
- [18] Gedik, A., Ozcan, O., Ozcanan, S.: Novel approaches and materials for healing asphalt cracks, GRAĐEVINAR, 75 (2023) 9, pp. 907-917, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.3721.2023>
- [19] Babić, D., Fiolčić, M., Žilioniene, D.: Evaluation of static and dynamic method for measuring retroreflection of road markings, GRAĐEVINAR, 69 (2017) 10, pp. 907-914, <https://doi.org/10.14256/JCE.2010.2017>
- [20] European Committee for Standardization: EN 12767:2019, Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods.
- [21] European Committee for Standardization: EN 12767:2007 Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods
- [22] Tkalčević Lakušić, V.: Analiza stupova uz prometnice iz aspekta sigurnosti u prometu, Projektiranje prometne infrastrukture, Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, 2011. pp. 321-346
- [23] Tkalčević Lakušić, V.: Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila, Građevinar, 64 (2012) 4, pp. 305-313
- [24] Guidance on passively safe product requirements in the UK, Guidance document, WG1/02/24, ARTSM (Association for Road Traffic Safety and Management) <https://artsm.org.uk/media/GUIDANCE-ON-PASSIVELY-SAFE-PRODUCT-REQUIREMENTS-Final-v4-2.pdf>